

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
RECICLAJE DE AGUAS GRISES EN EL EDIFICIO SANTA
BEATRIZ BLOQUE II**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. ESCUDERO VILLACORTA, DANY JIM
Bach. HEREDIA PELÁEZ, MARIO JESÚS AUGUSTO

ASESOR:
M. Sc. Ing. MOGROVEJO GUTIÉRREZ, RUBÉN ESAÚ

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

Se la dedico a las personas que son mi fortaleza, mi familia, agradezco el apoyo de mis padres que me brindaron en cada travesía de mi vida, en las buenas y malas. Ellos son quien me empuja a seguir adelante y se verá reflejado en este trabajo.

Dany Jim Escudero Villacorta.

El mayor agradecimiento a mis padres por tanto esfuerzo y sacrificio, gracias por darme todo de ustedes. Hoy que esta etapa de mi vida está siendo concluida, siento el mayor orgullo por ser su hijo. Agradezco también a mi hermana Fátima por brindarme su gran apoyo y entusiasmo durante todo este tiempo. A mis amigos por acompañarme en todo momento.

Mario Jesús Augusto Heredia Peláez.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo es un logro que culminamos luego de una exitosa etapa en nuestras vidas, donde vivimos experiencias maravillosas y aprendimos a enfrentar la vida para llegar a ser un Ingeniero Civil, probablemente la meta más grande e importante de nuestras vidas.

El mayor agradecimiento a nuestros padres por tanto esfuerzo y sacrificio, gracias por darme todo de ustedes. Hoy, que esta etapa de nuestras vidas está siendo concluida, sentimos el mayor orgullo por ser sus hijos.

A todos nuestros amigos, por tantas horas estudiando sin parar, por todo el apoyo en los cursos, por tantos consejos.

Y, por último, a todos los docentes por enseñarnos lo necesario para enfrentarse a los retos de la ingeniería y de la vida.

Escudero Villacorta, Dany Jim.

Heredia Peláez, Mario Jesús Augusto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Objetivo	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Importancia y Justificación del estudio	5
1.4.1. Conveniencia	5
1.4.2. Relevancia Social	5
1.4.3. Implicancia práctica.....	5
1.5. Limitaciones del estudio	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. En el ámbito Internacional.....	7
2.1.2. En el ámbito Nacional	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Introducción de la reutilización de Aguas Grises	9
2.2.2. Características de las aguas grises	10

2.2.3.	Características físicas de aguas grises	12
2.2.4.	Características químicas de aguas grises	13
2.2.5.	Características biológicas de aguas grises	14
2.2.6.	La evolución de las Aguas Grises a lo largo de la historia.....	15
2.2.7.	Países más avanzados en el desarrollo de técnicas de reutilización de Aguas Grises.....	17
2.2.8.	Producción de aguas residuales en Perú	18
2.2.9.	Manejo de las aguas residuales.....	19
2.2.10.	Dispersión en el uso de las Plantas de Tratamiento.....	22
2.2.11.	Aguas grises en el consumo doméstico	23
2.3.	Definiciones Conceptuales	24
2.3.1.	Reciclado de aguas grises	24
2.3.2.	Agua apta para el consumo humano (agua ACH)	24
2.3.3.	Agua gris reciclada	24
2.3.4.	Agua gris bruta	24
2.3.5.	Aguas negras	25
2.3.6.	Aguas pluviales	25
2.3.7.	Aguas residuales domésticas	25
2.3.8.	Capacidad de tratamiento	25
2.3.9.	Conexión cruzada	25
2.3.10.	Desinfección	25
2.3.11.	Dispositivo de prevención de reflujo.....	25
2.3.12.	Punto de uso	26
2.3.13.	Rebosadero	26
2.3.14.	Reflujo	26
2.3.15.	Sistemas para el reciclaje de aguas grises	26
2.4.	Estructura teórica y científica que sustenta la investigación	27

2.4.1. Definición de flujo	27
2.4.2. Tipos de flujo	27
2.4.3. Flujo uniforme	29
2.4.4. Pérdidas de energía por fricción: experimentos preliminares.....	30
2.4.5. Distribución de esfuerzos en tuberías circulares.....	32
2.4.6. Distribución de velocidades en tuberías circulares.....	36
2.4.7. Perfiles de velocidad	38
2.4.8. Ecuaciones para el diseño de tuberías circulares	38
2.4.9. Trabajos de Lewis Moody. Diagrama de Moody	47
2.4.10. Diseño de la tubería	51
2.4.11. Ecuaciones para el diseño de tuberías simples	52
2.4.12. Comprobación de diseño	55
2.4.13. La ecuación de Hazen-Williams	57
2.4.14. Método de Hunter para gastos probables.....	61
2.4.15. La tecnología en el tratamiento para adquirir los estándares de calidad ...	63
2.4.16. Procesos Físicos.....	63
2.4.17. Procesos Químicos	64
2.4.18. Procesos Biológicos.....	65
2.4.19. Building Information Modeling (BIM)	66
2.4.20. Revit	69
2.4.21. Revit MEP Fontanería	70
2.4.22. Tuberías para instalaciones sanitarias.....	72
2.4.23. Especificaciones de artefactos Sanitarios y Grifería	84
2.4.24. Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú.....	88
2.4.25. Límites Máximos Permisibles (LMP)	91
2.4.26. Estándares de Calidad de Agua (ECA).....	92
2.5. Formulación de hipótesis	93

2.5.1.	Hipótesis general	93
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	93
2.5.3.	Variables	94
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO		96
3.1.	Tipo y método de investigación.....	96
3.2.	Diseño de la Investigación.....	96
3.3.	Población y muestra.....	97
3.5.	Técnicas de recolección de datos.....	98
3.5.1.	Tipos de técnicas e instrumentos	98
3.5.2.	Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	98
3.5.3.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	99
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN		100
4.1.	Lugar de estudio	100
4.1.1.	Delimitación del área de estudio Ubicación:	100
4.1.2.	Particularidades de la vivienda multifamiliar	101
4.2.	Producción de aguas grises en el edificio multifamiliar.....	103
4.2.1.	Gasto de agua potable en el edificio multifamiliar.....	103
4.2.2.	Demanda de aguas grises.....	104
4.2.3.	Consideración e investigación de las características de las aguas grises según Niño y Martínez	105
4.2.4.	Dotación de servicio de agua potable	107
4.2.5.	Caudales producidos.....	109
4.3.	Diseño del Sistema Hidráulico Convencional del Edificio Multifamiliar.....	110
4.3.1.	Diseño de Cisterna.....	110
4.3.2.	Diseño de Tanque Elevado	113
4.3.3.	Diseño de Red de Distribución de Agua Fría	115
4.3.4.	Diseño de Red de Distribución de Agua Caliente	120

4.4.	Diseño del Sistema Hidráulico con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises ...	136
4.4.1.	Esquema preliminar de reciclado de flujos.....	136
4.4.2.	Diseño de Cisterna de agua potable.....	138
4.4.3.	Diseño de Tanque Elevado N°01 de Agua Potable	140
4.4.4.	Diseño de Tanque Elevado N°02 de Agua Tratada.....	142
4.4.5.	Esquema de instalación de Planta de Tratamiento	144
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		172
5.1.	Análisis y resultados de Diseño Hidráulico.....	172
5.1.1.	Diámetros y presiones en Sistema Convencional.....	172
5.2.	Diámetros y presiones en el Sistema Hidráulico con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises en Edificio Multifamiliar.....	174
5.3.	Análisis de costos de Sistema Convencional.....	176
5.4.	Análisis de costos con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises en Edificio Multifamiliar.....	180
5.5.	Estructura tarifaria y tiempo de retorno para la instalación del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises	184
5.5.1.	Ahorro de Agua Mensual	184
5.5.2.	Estructura Tarifaria de Cercado de Lima	185
5.5.3.	Proyección de Estructura Tarifaria	186
5.5.4.	Proyección de consumo y ahorro generado.....	187
CONCLUSIONES.....		190
RECOMENDACIONES.....		193
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		195

ÍNDICE DE ANEXOS

1.	Planos Ubicación de Edificio Santa Beatriz II	198
2.	Plano en Planta Arquitectónica de Planta Típica.....	200
3.	Marco Legal.....	202
4.	Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones	213
5.	Planos de Instalaciones de Agua Fria y Agua Caliente de Sistema Convencional	244
6.	Tabla de Cálculos de Presiones de Sistema Convencional.....	246
7.	Planos de Instalaciones Sanitarias de Aguas Negras.....	321
8.	Planos de Instalaciones de Agua Fria, Agua caliente y Agua Tratada de Sistema de Tratamiento de Aguas Grises	323
9.	Cotización de Planta de Tratamiento	325
10.	Plano de Planta de Tratamiento	327
11.	Tabla de Cálculo de Presiones de Sistema de Tratamiento de Aguas Grises.	329
12.	Planos de Instalaciones Sanitarias de Aguas Grises y Aguas Negras	416
13.	Ficha Técnica de Tuberías de PVC	418
14.	Ficha Técnica de Tuberías de CPVC.....	425
15.	Análisis de Costos Unitarios (ACU)	430
16.	Presupuesto de Sistema Convencional	451
17.	Presupuesto de Sistema de Tratamiento de Aguas Grises	453
18.	Metodología de Índices Unificados para la Construcción	455
19.	Índices Unificados de junio del 2017	464
20.	Índices Unificados de mayo del 2019.....	466
21.	Estructura Tarifaria Sedapal 2015	468
22.	Estructura Tarifaria Sedapal 2018	470
23.	Estructura Tarifaria Sedapal 2019	472
24.	Matriz de consistencia	474

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.	11
Tabla N° 2: Usos a lo largo del ciclo de vida del edificio.	67
Tabla N° 3: Presiones nominales de las tuberías de PVC-U.	76
Tabla N° 4: Características Técnicas de la tubería para desagüe marca PAVCO.	78
Tabla N° 5: Aplicaciones de CPVC en entornos industriales.	82
Tabla N° 6: Aplicaciones del CPVC en plomería de residencia y comercio.	83
Tabla N° 8: Características Técnicas de la tubería para agua caliente de CPVC marca PAVCO.	84
Tabla N° 8: Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú actualizado.	90
Tabla N° 9: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.	91
Tabla N° 10: Comparación de las normas en los ECA.	92
Tabla N° 11: Matriz Operacional.	94
Tabla N° 12: Consumos de agua en viviendas.	103
Tabla N° 13: Análisis de las características en las aguas grises.	105
Tabla N° 14: Dotación de agua por departamento.	108
Tabla N° 15: Dotación de agua fría en edificio.	108
Tabla N° 16: Dotación de agua caliente.	109
Tabla N° 17: Dotación de agua caliente en edificio.	109
Tabla N° 18: Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución.	127
Tabla N° 19: Unidades de gasto en departamento.	128
Tabla N° 20: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter.	129
Tabla N° 21: Gastos probables por piso del edificio.	130
Tabla N° 22: Gastos probables en departamento.	131
Tabla N° 23: Caudales máximos para tubería comercial.	131
Tabla N° 24: Valores de coeficiente (K) según accesorios.	132
Tabla N° 25: Plantilla de cálculo hidráulico.	133
Tabla N° 26: Unidades de descarga.	134
Tabla N° 27: Unidades de descarga en departamento.	135
Tabla N° 28: Número máximo de unidades de descarga en montantes de desagüe.	135

Tabla N° 29: Número máximo de unidades de descarga para colectores.....	136
Tabla N° 30: Unidad de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución.....	161
Tabla N° 31: Unidades de gasto del departamento.....	162
Tabla N° 32: Unidades de gasto de agua tratada en departamento.....	162
Tabla N° 33: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter.	163
Tabla N° 34: Gastos probables de agua potable por piso.	164
Tabla N° 35: Gastos probables de agua tratada por piso.	165
Tabla N° 36: Gastos probables de agua potable en departamento.....	166
Tabla N° 37: Gastos probables de agua tratada en departamento.....	166
Tabla N° 38: Caudales máximos en diámetros de tuberías comerciales.	167
Tabla N° 39: Valores de coeficiente "K" para accesorios.	167
Tabla N° 40: Unidades de descarga.	168
Tabla N° 41: Unidades de descarga de aguas grises en departamento.	169
Tabla N° 42: Unidades de descarga de aguas negras en departamento.	169
Tabla N° 43: Número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado a los montantes.	170
Tabla N° 44: Número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado a colectores.	171
Tabla N° 45: Diámetros para líneas y redes de diseño.	172
Tabla N° 46: Presiones en elementos sanitarios en sistema hidráulico convencional..	173
Tabla N° 47: Diámetros para líneas y redes con sistema de reciclaje de aguas grises.	174
Tabla N° 48: Presiones en elementos sanitarios con sistema de reciclaje de aguas grises.....	175
Tabla N° 49: Metrado de tuberías para sistema convencional.....	176
Tabla N° 50: Metrado de accesorios para sistema convencional.....	177
Tabla N° 51: Presupuesto de sistema convencional.	178
Tabla N° 52: Tabla de índices unificados de la construcción.....	178
Tabla N° 53: Monomio de presupuesto de sistema convencional.	179
Tabla N° 54: Índices unificados de actualización del sistema convencional.	179
Tabla N° 55: Metrado de tuberías de sistema de reciclaje de aguas grises.	180
Tabla N° 56: Metrado de accesorios de sistema de reciclaje de aguas grises.	181
Tabla N° 57: Presupuesto del sistema de reciclaje de aguas grises.	182
Tabla N° 58: Índices unificados de precios de la construcción.	182

Tabla N° 59: Monomios de presupuesto del sistema de reciclaje de aguas grises.	183
Tabla N° 60: Índices unificados de actualización del sistema de reciclado de aguas grises.....	183
Tabla N° 61: Ahorro de agua mensual en edificio.....	184
Tabla N° 62: Estructura tarifaria de Sedapal.	185
Tabla N° 63: Proyección de consumo y ahorro generado.	188

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Progreso del volumen de agua que se ha reutilizado del 2009 al 2016.	17
Figura N° 2: Producción de agua residual en el Perú.	19
Figura N° 3: Cantidad de agua residual por persona al día en Perú.	21
Figura N° 4: Aparato diseñado por Reynolds para estudiar la caída de presión por unidad de longitud a lo largo de una tubería en función del tipo de flujo. 30	
Figura N° 5: Gráfica logarítmica de los resultados del segundo experimento de Reynolds.	31
Figura N° 6: Volumen de control para el flujo en una tubería. Se muestran todas las fuerzas que actúan en un fluido contenido en un volumen de control.	33
Figura N° 7: Distribución lineal del esfuerzo cortante en tuberías circulares.	35
Figura N° 8: Distribución de velocidades para flujo laminar en una tubería de sección circular.	37
Figura N° 9: Esquema de flujo laminar en tuberías tal como el utilizado por Hagen y Poiseuille.	40
Figura N° 10: Factor de fricción para flujo altamente turbulento.	48
Figura N° 11: Diagrama de Moody modificado (rugosidades relativas).	49
Figura N° 12: Diagrama de Moody.	50
Figura N° 13: El espesor de la subcapa laminar viscosa (a) disminuye a medida que el número de Reynolds y el caudal aumentan.	51
Figura N° 14: Esquema representativo de una tubería.	52
Figura N° 15: Comprobación de diseño de tuberías simples.	56
Figura N° 16: Intercambio de información sin BIM y con BIM.	68
Figura N° 17: Requerimientos de un Inodoro. Corporación de Desarrollo Tecnológico - C.Ch.C.	86
Figura N° 18: Ubicación del proyecto.	100
Figura N° 19: Planta típica de torre B.	102
Figura N° 20: Consumo de agua potable por cada vivienda.	104
Figura N° 21: Comparación de la producción de aguas grises vs. aguas negras.	105
Figura N° 22: Cisterna de agua potable del sistema convencional.	112
Figura N° 23: Tanque elevado de sistema convencional.	114
Figura N° 24: Gabinete de distribución de agua fría.	116

Figura N° 25: Válvula esférica principal del departamento.	117
Figura N° 26: Lavandería de departamento.	117
Figura N° 27: Baño de departamento.	118
Figura N° 28: Vista en planta de distribución de agua fría en departamento.	119
Figura N° 29: Isométrico de distribución de agua fría en departamento.	119
Figura N° 30: Vista en planta de distribución de agua caliente en departamento.	120
Figura N° 31: Isométrico de distribución de agua caliente en edificio.	121
Figura N° 32: Distribución de desagüe en baño de departamento.	122
Figura N° 33: Distribución de desagüe en lavandería y cocina del departamento.	123
Figura N° 34: Distribución en planta de desagüe en departamento.	124
Figura N° 35: Isométrico de distribución de desagüe en departamento.	124
Figura N° 36: Montantes de desagüe en edificio.	125
Figura N° 37: Isométrico de colectores de desagüe en edificio.	126
Figura N° 38: Esquema preliminar de reciclado de flujos.	137
Figura N° 39: Cisterna de agua potable de sistema de reciclaje de aguas grises.	139
Figura N° 40: Tanque elevado N° 1	141
Figura N° 41: Tanque elevado N° 2 de agua tratada.	143
Figura N° 42: Perfil de planta de tratamiento de aguas grises.	145
Figura N° 43: Gabinete de agua potable.	146
Figura N° 44: Válvula esférica principal de departamento.	147
Figura N° 45: Distribución de agua fría potable en lavandería de departamento.	148
Figura N° 46: Distribución de agua fría potable en baño de departamento.	149
Figura N° 47: Distribución en planta de agua fría potable en departamento.	149
Figura N° 48: Isométrico de distribución de agua fría potable en departamento.	150
Figura N° 49: Distribución en planta de agua caliente en departamento.	151
Figura N° 50: Isométrico de distribución de agua caliente en departamento.	152
Figura N° 51: Gabinete de distribución de agua tratada.	153
Figura N° 52: Distribución de agua tratada en departamento.	154
Figura N° 53: Captación de aguas grises en baño del departamento.	155
Figura N° 54: Captación de aguas grises en cocina y lavandería del departamento. ...	156
Figura N° 55: Captación en planta de aguas grises en departamento.	157
Figura N° 56: Montantes de captación de aguas grises en edificio.	157
Figura N° 57: Colectores de aguas grises en edificio.	158

Figura N° 58: Captación de aguas negras en baños del departamento.	159
Figura N° 59: Captación en planta de aguas negras en departamento.....	160
Figura N° 60: Red de colectores de aguas negras en edificio multifamiliar.....	160
Figura N° 61: Tendencia de estructura tarifaria de agua potable.	186
Figura N° 62: Tendencia de estructura tarifaria de alcantarillado.	186

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el fin de generar un diseño sostenible, que permita disminuir el consumo de agua potable, siendo este un recurso no renovable y de vital importancia para el ser humano. Se pudo observar que las aguas provenientes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes, consideradas aguas grises, son un recurso de agua, que con el tratamiento correcto puede ser utilizado en actividades que no requieran de mayores exigencias en la calidad del agua, como en riego, sistemas de inodoro, etc.

Motivo por el cual se propuso como objetivo de investigación el planteamiento de un sistema que permite reciclar las aguas grises en el Edificio Santa Beatriz Bloque II ubicado en Cercado de Lima-Lima, con el fin de determinar el ahorro de agua potable al implementar el sistema de reciclado de aguas grises, haciendo uso del software REVIT MEP, bajo la metodología de diseño BIM.

Se proyectó que el ahorro generado por la aplicación del sistema planteado, fue significativo a corto y largo plazo, tanto en el consumo del agua potable, en la reducción de aguas residuales eliminadas al sistema de alcantarillado público y en la disminución de los gastos de los propietarios. Todo esto bajo la implementación de una solución eco amigable, técnica y financieramente factible.

Palabras claves: Reutilización, reciclado, aguas grises, sostenible, ahorro, agua potable, aguas residuales.

ABSTRACT

This research was carried out in order to generate a sustainable design, which would reduce the consumption of drinking water, this being a non-renewable resource and of vital importance for the human being. It was observed that the water coming from washing in general such as: kitchens, sinks, showers, containing detergents, food debris, organic matter and other contaminants, considered gray waters, are a water resource, which with the correct treatment can be used in activities that do not require greater demands on water quality, such as irrigation, toilet systems, etc.

Reason for which the proposal of a system that allows recycling of gray water in the Santa Beatriz Block II Building located in Cercado de Lima-Lima was proposed as a research objective, in order to determine the saving of drinking water when implementing the system of gray water recycling, using the REVIT MEP software, under the BIM design methodology.

It was projected that the savings generated by the application of the proposed system, was significant in the short and long term, both in the consumption of drinking water, in the reduction of wastewater eliminated to the public sewerage system and in the reduction of the expenses of the owners. All this under the implementation of an eco friendly, technical and financially feasible solution.

Keywords: Reuse, recycling, gray water, sustainable, savings, drinking water, wastewater.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el consumo del agua es fundamental en nuestro día a día, lo cual no es un problema este consumo masivo, que resulta por el incremento acelerado de la población la cuál así lo genera. Sino al mal uso de cómo termina ésta agua al no ser reutilizada.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, en el Perú, la población suele pensar que tenemos una fuente infinita de agua, siendo el error más grande de todos los humanos. Pues, según los estudios y resultados de especialistas, la fuente de agua en nuestro país es escaso a comparación de nuestro alto incremento de población.

Actualmente, por un lado, los peruanos desconocemos este real problema que se aproxima a futuro, y por el otro, la escasez del recurso hídrico. Ante este resultado, nosotros planteamos la manera de dar una nueva alternativa de construcción en hacer las edificaciones, y para que ello de resultado, proponemos un plan sostenible mediante el cual nos dé resultados económicos favorables y así reutilicemos el agua.

El Ciclo Hidrológico se produce en el planeta desde que existen los seres vivos sobre él, siendo así la reutilización del agua un fenómeno natural. El ciclo del agua termina en los ríos, lagos, océanos, pasando por éstos aproximadamente de 5 a 6 veces antes de evaporarse.

En desenlace, la reutilización del agua es un proceso constante que se viene dando en nuestro planeta de manera natural, desde el inicio de los tiempos. En consecuencia, de ello, nacieron ideas de la reutilización de agua. Siendo la reutilización, un nuevo uso del agua ya utilizada para un uso el cual no tiene la necesidad de tener agua de muy buena calidad o agua potable para su aprovechamiento.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) publicó un informe en el año 2006 sobre el desarrollo humano, en el cual nos indicó cuales son las principales acciones del consumo de agua, teniendo el 70% la agricultura a nivel mundial, seguida

por la industria con un 23% del consumo mundial y con un 7% el consumo doméstico. En el cual, éste último, los seres humanos tenemos el libre albedrío de realizar actividades que consumen agua.

Las aguas residuales procedentes del consumo doméstico, en dónde estamos centrando nuestra propuesta, se subdivide en dos partes, las aguas negras (proviene de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavaderos, sumideros, duchas, conteniendo restos de alimentos, detergentes o algún otro contaminante como por ejemplo la materia orgánica). De acuerdo a la proyección de la escasez el agua, se plantea un sistema que se reúsen éstas aguas grises que son generadas en los edificios multifamiliares. Ya que, existen muchísimas aplicaciones que no requieren de agua potable, siendo favorablemente tratadas las aguas grises serían una alternativa razonable y apropiada, como lo son los tanques de inodoro, la limpieza, el riego de áreas verdes. Utilizando ésta propuesta conveniente, se podría reducir el consumo de agua potable en un 30 a 40%, teniendo como beneficio un resultado altamente sostenible y económico a largo plazo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El uso indiscriminado e irracional de agua potable, y la falta de cultura de reutilización y cuidado de este, generan que las plantas de tratamiento de aguas residuales no se abastezcan para tratar todas las aguas servidas de la ciudad y por lo tanto son desechadas al mar sin ningún tratamiento previo.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018) el crecimiento de la población en Lima Metropolitana está en aumento y por lo tanto no se llega a abastecer al 100% de la población de agua potable. Es notorio como los factores demográficos afectan directamente en el consumo de los recursos hídricos. A este paso, el agua de los ríos que abastecen las plantas de tratamiento que generan agua potable, se irá reduciendo si no tomamos medidas para la renovación del recurso hídrico.

1.2. Formulación del problema

La nueva idea de calidad de vida, el crecimiento importante que ha tenido el país en estos últimos años y la centralización en la capital peruana ha generado por consecuencia el aumento en la utilización de agua potable y ha aumentado las aguas residuales en el sistema de alcantarillado. Toda la generación actual y las generaciones futuras se verán afectadas por la escasez de agua en la ciudad de Lima si no se resuelve el problema con proyectos sustentables a largo plazo.

Aqua España (2011) en su artículo menciona que la falta de inversión en la sensibilización de la población y en sistemas de ahorro de agua potable, sobre todo en las tareas que no necesariamente requieren de una calidad de agua como la potable, tales como en el tanque del inodoro, para limpieza o riego, generan mayor cantidad de aguas residuales que son eliminadas al sistema de alcantarillado público y demandan mayor uso de agua potable.

1.2.1. Problema general

¿Cómo es posible reciclar las aguas grises para la reutilización en el edificio Santa Beatriz Bloque II?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿En qué medida el sistema de reciclaje de aguas grises permite el ahorro de agua potable?
- b) ¿En qué medida el sistema de reciclaje de aguas grises reduce las aguas residuales eliminadas al sistema de alcantarillado público?
- c) ¿En qué medida la utilización de un software eficiente permite la mitigación de los costos de instalación del sistema de reciclaje de aguas grises?

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo General

Reciclar las aguas grises para la reutilización en el edificio Santa Beatriz Bloque II.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el ahorro de agua potable que permite el sistema de reciclaje de aguas grises.
- b) Determinar la reducción de aguas residuales eliminadas al sistema de alcantarillado público gracias al sistema de reciclaje de aguas grises.

- c) Evaluar en un software de aproximación para la mitigación de los costos de instalación del sistema de reciclaje de aguas grises.

1.4. Importancia y Justificación del estudio

1.4.1. Conveniencia

Se busca proponer la instalación de un sistema de reciclado de aguas grises en un edificio multifamiliar, que generará un ahorro en el consumo de agua potable, basados en la sostenibilidad y eficiencia del sistema, contrastando los resultados con el mismo edificio sin el sistema instalado.

1.4.2. Relevancia Social

Esta propuesta busca beneficiar a todas las familias que vivan en edificios multifamiliares con el sistema instalado y dándole un uso correcto, se beneficiaran económicamente porque se propone un ahorro directo en la cuenta del recibo de agua.

1.4.3. Implicancia práctica

Justificando la viabilidad del sistema nos permitirá conocer la importancia que se propone al generar ahorro de agua potable también a nivel macro en la red pública y de esta manera se podrá abastecer con el mismo caudal a la población que por ahora no tiene acceso a la red pública.

La necesidad de aumentar la eficiencia en el metrado y en reducir los tiempos de modelado, motiva a utilizar un software de metodología BIM que permitirá mejorar el tiempo necesario para realizar el modelado y determinar con exactitud las piezas a usar en el sistema. Por ende, se podrá obtener un metrado confiable y determinar el costo de instalación del sistema.

1.5. Limitaciones del estudio

El trabajo de estudio se lleva a cabo en la ciudad de Lima donde se encuentra el edificio multifamiliar llamado Santa Beatriz Bloque II. Se estudian y revisan solo los planos estructurales y sanitarios de los departamentos en el edificio. La información necesaria se busca en sitios webs y sólo en caso sea necesario, se visita presencialmente puntos estratégicos donde se pueda recopilar información dentro de la ciudad de Lima.

El estudio comprende un periodo de aproximadamente cinco meses desde Junio hasta Octubre del año 2019.

En primera instancia se conoce que la edificación no tiene implementado un sistema de reciclaje de aguas grises, se realiza un estudio de la proyección de consumo de agua potable en dicho sistema. Posteriormente se realiza una propuesta de sistema de reciclaje de aguas grises y se modela con dicho sistema instalado haciendo uso del software bajo la metodología BIM, de forma que se puedan realizar comparaciones de metrados y finalmente costos en los resultados de ambas propuestas.

El sistema de reciclaje de aguas grises propuesto comprende el diseño del sistema sanitario, ubicación de la planta de tratamiento, componentes sanitarios con mayor incidencia en el presupuesto y verificación de presiones. También se verifica el funcionamiento del sistema de agua caliente. La planta de tratamiento se cotiza según estándares de calidad de agua requeridos para el caso. No se contempla el diseño de la planta de tratamiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. En el ámbito Internacional

Espinal C., Acosta D. y Rojas J. (2014), nos señalan:

En su proyecto de investigación un sistema dedicado a reciclar aguas grises en Pereira-Colombia, cuyo objetivo más importante fue el de crear un diseño donde se pueda volver a usar estas aguas, en donde fue necesario ubicar estratégicamente los puntos donde se captara la mayor cantidad de aguas grises. Esto contribuye a las próximas investigaciones que se hagan para la reutilización de aguas grises en países con necesidades similares a las de Venezuela.

Mujica C. y Peraza H. (2013), en su investigación:

Tuvieron como fin, plantear un sistema donde se logre reutilizar las aguas que se han utilizados en locales de auto lavados que están ubicados en la Av. Constitución en la ciudad de Mançhay, Venezuela. Ya que se le buscaba dar una alternativa al uso excesivo de agua que se hacía en estos establecimientos. El tipo de investigación fue descriptiva y se desarrolló en 3 fases: diagnóstico, estudio de la factibilidad técnica y propuesta del diseño.

Soto W. (2012), tuvo como objetivo principal:

Investigar la percepción de dos grupos sociales para delimitar los elementos más importantes que se deben considerar en un sistema de tratamiento de aguas grises de uso doméstico; con la finalidad de formular una estrategia básica de implementación de sistemas de tratamiento de estas aguas que cumpla con las características que se requieren.

Velásquez N. (2012), nos indica que “el objetivo primordial de la presente investigación fue evaluar la posibilidad económica, ambiental y técnica de la reutilización de aguas residuales que se generan en la lavandería, como estrategia de sostenibilidad para el Hospital en Medellín, Colombia.”

2.1.2. En el ámbito Nacional

Rojas R. (2014), en su trabajo de grado plantea:

Diseñar un sistema de reutilización de las aguas grises residuales para sustituir ciertos usos que se realizan actualmente con agua potable y que no requieren de agua de alta calidad, con la finalidad de reducir el consumo de este recurso, aplicando este sistema en una vivienda en la ciudad de Huancayo. Entre los aportes que cabe destacar de la mencionada investigación, que se demostró que no existe aplicación de reutilización de aguas grises en la ciudad de Huancayo, por lo que debe crearse leyes que fomenten a esta aplicación y concientización social. Por otro lado, en su diseño de sistema de reutilización proponen que las aguas grises circulen por tuberías independientes hasta desembocar en un depósito donde, tras un proceso de tratamiento son bombeadas a una segunda red de canalización y distribuidas a los lugares de consumo, generando aportes a nuestra investigación en cuanto al diseño de las instalaciones sanitarias del sistema en mención.

Loza P. (2017), nos indica que:

Investigó acerca del potencial de las aguas grises y propone implementar un sistema de reutilización de aguas grises en un edificio, en donde el agua generada de duchas, lavamanos y lavadoras sirvan para abastecer el tanque del inodoro, para limpieza y sea empleada para un sistema de riego en los jardines, todo lo anterior de forma controlada y segura a través de la implementación de una planta de tratamiento en el sótano del edificio para garantizar

la calidad de agua que cumpla los estándares mínimos para el vertimiento en lugares donde no se necesite agua potable. Generando de diseño de una red de captación de aguas grises, el desarrollo de una planta modular de tratamiento, un tanque de almacenamiento y finalmente el sistema de bombeo y distribución de las aguas tratadas. Adicionalmente, indican los aspectos básicos que deben considerar los usuarios y operadores, donde expone los costos de operación y mantenimiento a largo plazo por la implementación de este sistema, concluyendo que se genera un ahorro en el consumo de agua potable y por ende, en la economía de los usuarios en los departamentos a corto y largo plazo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Introducción de la reutilización de Aguas Grises

La población mundial crece hoy en día considerablemente, y al estilo de vida que vivimos se tiene un descontrol en el consumo racional del agua, si aún esto se sigue incrementando al ritmo que va, dentro de unos 7400 millones actuales pasaran a ser 9200 millones en el año 2050. Esto nos exige que el agua potable para ese entonces será mucho más elevada, y difícilmente sostenible e imposible. Según un informe de Naciones Unidas más de 7000 millones de personas se verían afectadas con este problema, y para el año 2050 sufriríamos escasez de agua a nivel mundial.

Asimismo, se está intensificando cada vez más las precipitaciones en diferentes partes del mundo, así como también fenómenos sobrenaturales debido al calentamiento global, generando un déficit de agua potable frente a estos eventos.

La aceleración de la contaminación por parte de las grandes industrias, terremotos, huracanes o erupciones volcánicas contribuye al decaimiento de las importantes fuentes de agua natural.

Nos preguntamos si aún somos conscientes de la cantidad de agua que consumimos y a la vez que desperdiciamos día a día, ¿hacemos un uso adecuado del agua potable? De lo que si estamos seguros es que la gran mayoría de nosotros no lo estamos, el uso excesivo e inadecuado son los errores más comunes.

Una idea ventajosa sería la reutilización de aguas provenientes de nuestros hogares, también impulsar a las diferentes entidades públicas y privadas la concientización social para implementar más actividades como la reutilización de las aguas hervidas, y que se conviertan poco a poco y cada vez más extendida, hasta darles a entender que esta actividad es totalmente necesaria.

2.2.2. Características de las aguas grises

Es importante conocer toda la información del agua residual en sus diferentes etapas, como la de tratamiento de las aguas, eliminación de contaminantes en aguas residuales y para una mejor administración de la calidad del medio ambiente.

Las aguas grises se caracterizan por 3 razones nos señala Eriksson *et al.* (2002):

La condición del agua proporcionada, el tipo de red que distribuye el agua potable y residual; y por el uso que se le da en la vivienda. Los elementos que componen las aguas grises dependen de su origen, de los hábitos y uso que le den y hasta los productos químicos de actividades domésticas que se lleguen a utilizar. La composición también puede cambiar según el tiempo y lugar de almacenamiento, habría la posibilidad de que ocurra una degradación química y biológica de los compuestos dentro de la red de transporte.

Entre las características de las aguas grises se observa que se diferencian por su composición física, química y biológica como se puede ver en la *Tabla N° 1*, presenta las propiedades más importantes y su procedencia. Es oportuno tomar en cuenta que varios de los parámetros que se muestran en la siguiente tabla, se relacionan entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física, como la temperatura va a afectar a la actividad biológica y a la cantidad de gases que se disuelven en el agua residual.

Tabla N° 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.
(Continúa)

CARACTERISTICAS	PROCEDENCIA
PROPIEDADES FISICAS	
<i>Color</i>	Aguas residuales e industriales degradación natural de materia orgánica
<i>Olor</i>	Agua residual en descomposición, residuos industriales
<i>Solidos</i>	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones Incontroladas.
<i>Temperatura</i>	Aguas residuales domesticas e industriales.
CONSTITUYENTES QUIMICOS	
Orgánicos	
<i>Carbohidratos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Grasas animales, aceites</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa
<i>Pesticidas</i>	Residuos agrícolas
<i>Fenoles</i>	Vertidos industriales.
<i>Proteínas</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Agentes tenso activos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Otros</i>	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos	
<i>Alcalinidad</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995).

Tabla N° 1: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

<i>Cloruros</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
<i>Metales pesados</i>	Vertidos industriales
<i>Nitrógeno</i>	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
<i>PH</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Fósforo</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía
<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<i>Azufre</i>	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases	
<i>Sulfuro de hidrógeno</i>	Descomposición de residuos domésticos
<i>Metano</i>	Descomposición de residuos domésticos
<i>Oxígeno</i>	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS	
Animales	
<i>Animales</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	
<i>Plantas</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas	
<i>Eubacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
<i>Arqueobacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
<i>Virus</i>	Aguas residuales domésticas

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995).

2.2.3. Características físicas de aguas grises

De acuerdo con Eriksson *et al.* (2002), nos indica:

La característica más importante de las aguas grises es el color, que generalmente es de color gris. Otra característica de gran importancia es la temperatura, la turbidez y el contenido de sólidos en suspensión. Si la temperatura es muy alta puede resultar perjudicial, ya que fomenta el crecimiento de microbios y en aguas sobresaturadas llegarían a inducir la precipitación. (p. 85).

Morel & Diener (2006), señalan:

Con respecto a la turbidez y la razón que causa este color del agua, indican que es el material sólido que puede estar presente, estas

pueden ser: las partículas de comida y animales crudos de las tuberías de la cocina y lavandería. Estas partículas pueden producir la obstrucción de estas redes. La mayor cantidad de sólidos en suspensión que se encuentran en tuberías de lavadero y cocina. De igual manera, estas van a depender de la cantidad de agua que se esté utilizando.

2.2.4. Características químicas de aguas grises

Según Matos *et al.* (2012) refiere que:

Los componentes que se presentan en las aguas grises se relacionan con el uso diario que se da en las viviendas, mayormente son productos químicos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica, que están constituidos de nitratos, fosfatos y agentes tensos activos. Estos componentes en su mayoría son vaciados directamente a la red de alcantarillado. (p. 159).

También, Matos *et al.* (2012) nos dice que “se pueden encontrar sodio, calcio, magnesio, compuestos de sales de potasio, aceites, grasas y nutrientes, que provienen de las actividades que se realicen en las viviendas, esto reduce la posibilidad que se tiene de aprovechar la reutilización de aguas grises.” (p. 160).

De acuerdo con Aqua España (2011) indica que:

La composición de las aguas grises también varía según la ubicación socioeconómica de los hogares, ya que cada uno tiene estilos de vida distintos y actividades diferentes, por ejemplo, en zonas urbanas existe mayor cantidad de elementos químicos presentados en los detergentes por el aseo que los hogares realizan, en cambio las viviendas en zonas rurales, no llegan a realizar la actividad con la misma frecuencia. (p. 5).

Collazos (2008) señala con respecto a las características químicas que:

También encontramos la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se necesita para que una población de bacterias normalice la materia orgánica biodegradable que se presenta en el agua residual. Por otro lado, la demanda química de oxígeno, se refiere a la medida de la cantidad de oxígeno que se consume en la oxidación química de la materia orgánica expuesta en una muestra de agua. (p. 12).

2.2.5. Características biológicas de aguas grises

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS (1996) nos dice que:

Las coliformes fecales, totales, *Escherichia coli*, entre otros, son algunas de las características biológicas de las aguas residuales, provienen en su mayoría a los desechos humanos y de animales, a estas muestras generalmente se le denominan aguas negras, ya que contienen agentes patógenos como bacterias y virus que encontramos en las heces, sangre y orina. (p. 8).

Además, la CEPIS *et al.* (1996) “Desde la antigüedad, el tema de las enfermedades causadas por el estado de las aguas y su prevención fue la razón más importante para que se pensara en un control de la contaminación. En el control que se realiza a la red de aguas superficiales, se examinan los indicadores de contaminación fecal como los Coliformes totales y *Escherichia coli* y en el control que se hace en la red de aguas de baño se analiza solo la *Escherichia coli*.” (p.10).

2.2.6. La evolución de las Aguas Grises a lo largo de la historia

Haciendo una línea del tiempo a lo largo de la historia y basándonos en citas de expertos en el tema, como Asano & Levine (1996), podríamos decir que:

El origen de la reutilización del agua se remonta a miles de años atrás. Empezó aproximadamente en el año 3000 a.c. y la historia, desde entonces, se puede dividir en tres etapas: época inicial (3000 a.c.-1850 d.c), época de gran avance sanitario (1850-1950) y época de la reutilización (1950-actualidad). (p. 7).

Existen indicaciones de Angelakis *et al.* (1999 y 2003) que:

En Grecia, con la civilización minoica hace 3000 años, existieron indicaciones del uso del agua residual en el aspecto agrícola. Por la edad media era muy común utilizar este tipo de aguas en colectividades pequeñas, así como en los países islámicos donde era indispensable quitar antes de usar, las impurezas adsorbidas a los sólidos suspendidos. Desde 1559, según Hartman (1973), existe en Bunzlau (Alemania) un sistema de regadío que funciona con aguas residuales. En Asia también cuentan con una tradición en donde con respecto a la agricultura, se utilizan abonos orgánicos que se obtienen de aguas residuales y excretas. (p. 11).

El origen de la reutilización del agua surgió con la aparición de las redes de alcantarillado, esto se remonta a la segunda mitad del siglo XIX. De acuerdo con Pettygrove & Asano *et al.* (1985):

Las aguas provenientes de dichas redes se propagaban al terreno llamado "*sewage farms*", las mismas que por los años 90 ya existían en gran número tanto en Estados Unidos, Europa y en muchos países más. (p. 16).

A mediados del siglo XIX, durante 1850 y 1860, cuando se desarrollaba la teoría del germen, Barty-King (1992) señala que “También se incorporaron

maneras para solucionar a través de la ingeniería el traslado de las aguas residuales mediante el uso de canales, acueductos y represas.” (p.22).

En el año 1912, Serra (2007) nos indica que:

En Estados Unidos se empezó con la planificación de reutilización del agua cuando la destinaban a fines agrícolas. En otros estados se fueron desarrollando otros sistemas para un uso urbano. La normativa se inició en California en la misma época. Desde 1965, la presente norma donde hablaba de la reutilización es impulsada de manera más determinante acciones como el reciclaje o como la regeneración de agua residuales.

Estos avances tecnológicos se realizaron en los 3 diferentes procesos: físicos, biológicos y químicos; y no solo en el agua sino también en las residuales, llevaron a la etapa contemporánea de la reutilización y regeneración del agua a comienzos de los años 50. (p.18).

En la actualidad, podemos afirmar que el tema de la reutilización ya cuenta con un plan que se ha estado convirtiendo en un elemento fundamental en los proyectos de suministro de agua y sanidad en varios lugares del mundo. Como se puede observar en la *Figura N° 1*, donde se detalla el progreso del volumen de agua que se ha regenerado en distintos países desde 2009 hasta el 2016.

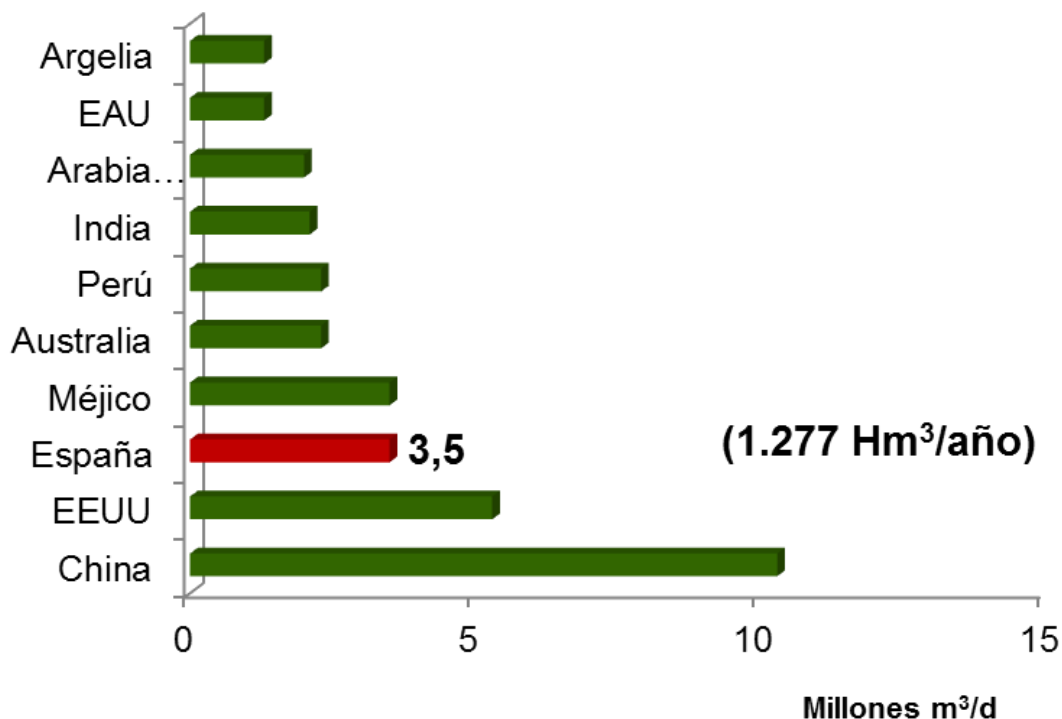


Figura N° 1: Progreso del volumen de agua que se ha reutilizado del 2009 al 2016.

Fuente: iAgua, (2014).

2.2.7. Países más avanzados en el desarrollo de técnicas de reutilización de Aguas Grises

Como sabemos, hay algunos países en los que se puede ver desarrollos más notorios en la reutilización de agua en el mundo, por ejemplo:

Estados Unidos, nos indica Water Reuse Association (2005) que “es el país donde se pueden encontrar mayor cantidad de sistemas de reutilización y regeneración, llegan a ser aproximadamente unas 16400 instalaciones pertenecientes a entidades públicas de tratamiento de aguas residuales. Además, se encuentran unas 1500 instalaciones destinadas a la reutilización de aguas residuales pero depuradas.” (p.15).

En la década pasada, siguiendo a *Australian Bureau of Statistics* (2004), “Australia llegó a ser unos de los países donde se presentaban más oportunidades

de promover la reutilización de aguas depuradas, principalmente en el aspecto agrícola, donde se documentó en el año 2000 un 82 % de estas aguas para la agricultura.” (p. 11).

Otro país es Japón, según Ogoshi *et al.* (2001) es en donde el uso público-urbano tiene destinado el mayor porcentaje de aguas reutilizadas a diferencia de los otros países que lo destinan al uso industrial y agrícola.

Así mismo, hay otros países del mediterráneo, en donde se han realizado proyectos de reutilización a raíz de efluentes secundarios y terciarios. En otro país, por ejemplo, Israel, Shuval *et al.* (2008) nos indica que “Las aguas reutilizadas llegan a contribuir a la agricultura en un 30%. En Túnez, se utiliza la regeneración y reutilización desde 1960, y ya se considera como parte importante de una fuente potencial de agua para fines agrícolas.” (p. 10).

Otros países que nos señala Haarhoff & Van der Merwe (1996) en donde existen proyectos vinculados con el tema son: México, Egipto, República de Sudáfrica, etc. También hablamos de China, que se lleva realizando trabajos para la reutilización de aguas residuales desde los años 80; en Kazajstán y Jordania se considera al agua residual como factor primordial y hasta se establecen leyes que apoyen los estudios dedicados a la reutilización de aguas regeneradas.

2.2.8. Producción de aguas residuales en Perú

La obtención de aguas residuales en las viviendas según nos dice Morel & Diener (2006) es muy variable, y se encuentra a consecuencia de la dinámica de las viviendas.

Los factores que influyen son el servicio de suministro de agua existente, la cantidad de miembros en la casa, las edades de ellos y el estilo de vida que los caracterice a los mismos. En cambio, en las regiones donde se usan los lagos o ríos para la higiene personal, utensilios de cocina o lavado de ropa, los volúmenes de agua

residual son de niveles bajos. En una zona adinerada, una familia, puede generar varios cientos de litros por día. En la literatura, los datos indican entre el 90 y 120 L/hab/día del consumo típico de agua residual, con agua transportada por tuberías. (p. 18).

En los datos de la Figura N° 2, observamos la cantidad de producción generada en el país de aguas residuales. Las regiones territoriales y la ascendente evolución de la población en el país aumentarán más del doble en los próximos años. En las zonas geográficas de difícil acceso al recurso, es igualmente baja la producción, proviene de la falta de agua y el complicado acceso al recurso.

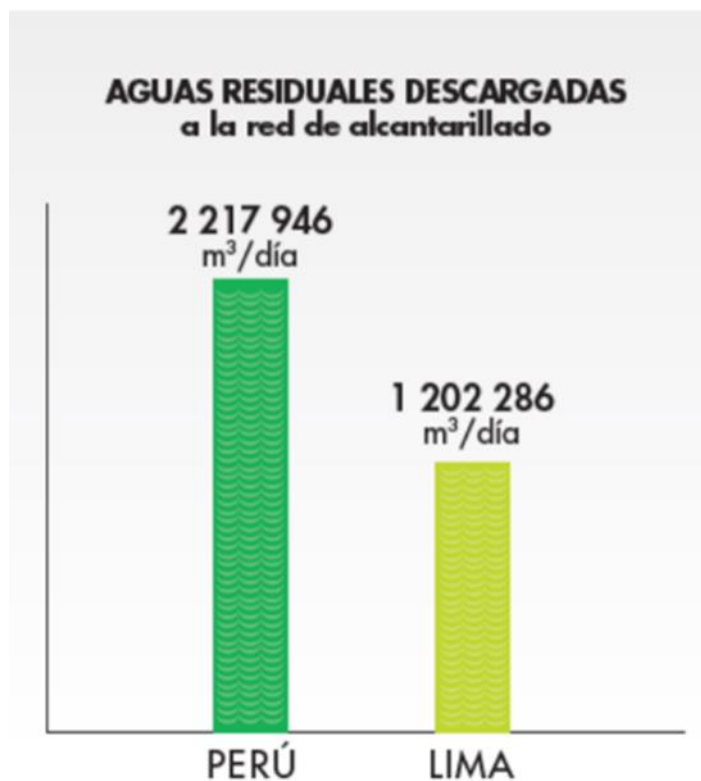


Figura N° 2: Producción de agua residual en el Perú.

Fuente: OEFA, (2014).

2.2.9. Manejo de las aguas residuales

La forma de cómo se maneja las aguas residuales en el Perú según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (2014), es de

manera centralizada. Esta les ayuda a tratar de acumular en un solo punto de gran volumen fuera de la ciudad, teniendo como objetivo minimizar las desventajas de una planta de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con Arce (2013): “La búsqueda de un crecimiento económico en el Perú, por parte de la población, conlleva a un problema de centralismo. Debido a esto empiezan a saturarse las plantas de tratamiento de aguas residuales, provocando desbordes, problemas en la salud de la población y daño al medio ambiente.” (p. 10)

Además Arce (2013) nos dice que: “En otros continentes como Europa usan el centralismo como una buena práctica, en lugares donde se tiene una población menor a 2,000 habitantes. Utilizando tratamientos como humedales o lagunas de oxidación teniendo como fin un uso agrícola y riego de áreas verdes.” (p. 11).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (2014) las aguas residuales eliminadas a la red de alcantarillado de las EPS en el Perú son aproximadamente 2.217,946 m³ por día en el 2012 como indica la Figura N° 2; de las cuales sólo reciben tratamiento el 32% de ellas. Lo que genera cada habitante de la costa, sierra y selva es 145 l/d, 144 l/d y 136 l/d, respectivamente, como se muestra en la Figura N° 3.

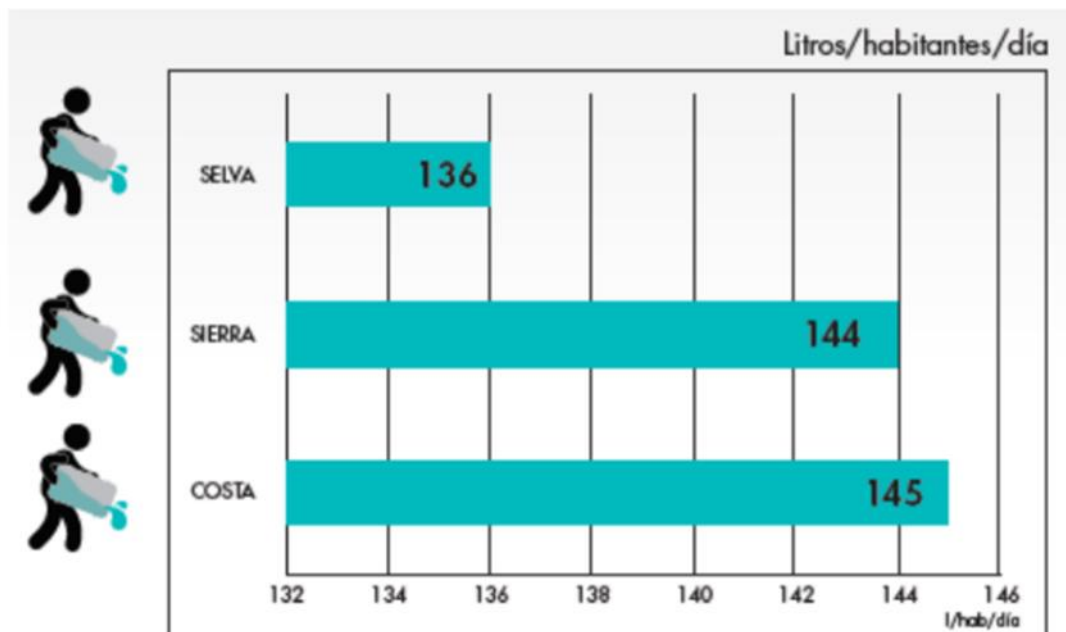


Figura N° 3: Cantidad de agua residual por persona al día en Perú.

Fuente: OEFA, (2014).

Teniendo como principal problema el centralismo en el Perú, no se la ha dado la debida importancia en cuanto al mal manejo en el tratamiento de aguas residuales. Se derivan pocos recursos para solucionar el problema de saneamiento; en cuanto a la búsqueda de alternativas para mejorar la calidad de vida de la población. En cuanto a la parte social que comprende el centralismo busca generar cambios de la reacción en la gente sobre el agua residual doméstica que se podría reutilizar.

El tema de aguas residuales y los residuos sólidos implica la salud de los pobladores, así como una cultura de higiene, además de que busca mejorar el lugar donde se reside. Se busca generar conciencia con los temas de investigación de las universidades y centros de estudio. Las soluciones que podemos encontrar es investigar de donde se originan los daños, así como las posibles soluciones aplicados en otros lugares.

Centralizar las tecnologías siempre intenta buscar una solución desde el punto de vista central. Se buscó la manera de encontrar una solución hacia un punto exterior, aislando el problema con el propósito de no molestar a los

pobladores. Si fuera el caso de que, un gran número de personas tuviera en varias ocasiones reclamos sobre el sistema de saneamiento y el mal uso que se da, se solucionaría de forma más eficaz. Es importante pensar en una manera de que las personas se comprometan con la idea de cuidar el medio ambiente, que les llegue a importar tanto que reclamen por un óptimo uso correcto de los desechos.

Las lagunas de estabilización es la tecnología del centralismo que más se ha puesto en práctica por las EPS durante todo este tiempo. Estas tecnologías funcionan bien cuando se puede contar con un compromiso técnico y responsabilidad de mejora. Cuando las lagunas de oxidación han sido utilizadas esas zonas son olvidadas y las toman como almacenes de aguas residuales.

Según la SUNASS - Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2008) en el año 2007:

Se recolectaron cerca de 747 millones de m³ de aguas residuales en las zonas urbanas del país. De esta cantidad, tan solo el 29% recibieron algún sistema de tratamiento de aguas residuales tomando en cuenta que aproximadamente del 49% se tiene alguna falla en su operación y mantenimiento. En el año 2009, las EPS llegaron a recolectar una mayor cantidad, fueron 786 millones de m³ de aguas residuales y solo el 35% de esta cantidad recibe tratamiento. El agua residual que queda se descargó directamente al mar, ríos y lagos, se introdujo al suelo o se utilizó en zonas agrícolas ilegales. También deberíamos recordar que estas aguas residuales se contaminan de los residuos de minas e industrias. (p.14).

2.2.10. Dispersión en el uso de las Plantas de Tratamiento

Durante el tiempo que analizamos con mayor detalle todas las alternativas que podemos usar, encontramos una opción de solucionar una problemática a nivel micro. De ahí, resulta la dispersión de su uso, es un sistema que tiene como

fin disminuir errores desde el inicio de las redes hasta donde termina. Se realizan pequeños focos de desarrollo sostenible usando las aguas residuales.

Arce (2013) señala que:

Aunque la sostenibilidad y el des centralismo están relacionados, este último busca la manera de ser independiente y aminorar gastos energéticos y daño al medio ambiente. Es decir, este sistema de alcantarillado es más completo, porque por medio de las tecnologías menos usadas, se logra satisfacer las necesidades de la población y se puede ofrecer una mejor calidad de vida. (p.13).

Según Arce (2013):

El crecimiento de la población es el mayor problema que tiene el saneamiento actual. Pese a que todo el sistema se rige estimando un factor de densidad poblacional para un tiempo determinado, ocurre que este incremento varía de forma brusca ocasionando una desorganización en los procedimientos fijos. (P. 14)

2.2.11. Aguas grises en el consumo doméstico

Las aguas grises, como indica Gallo (2010), son aquellas que provienen del uso doméstico generadas por lavadoras, lavavajillas, duchas, etc. que pueden ser tratadas y reutilizadas. Con un sistema que permita la reutilización de aguas grises, se puede determinar un ahorro considerable del agua potable: entre un 30 % y 45%.

Aunque en nuestro país aún no se ha valorado el real beneficio que ofrece el utilizar estas aguas, en las viviendas si se ha llegado a aprovechar en actividades como el llenado de la cisterna y limpieza de exteriores.

Se realizaron algunas experiencias que demostraron la gran utilidad que tienen las aguas grises en los hogares, los cuales señalan, según Gallo (2010):

Es necesario profundizar con un estudio sobre las características para posteriormente impulsar su uso. Es cada vez mayor el número de personas que ponen a prueba de manera informal algún tipo de tratamiento que permita la reutilización de las aguas grises en sus viviendas buscando un beneficio económico. (p. 132)

2.3. Definiciones Conceptuales

2.3.1. Reciclado de aguas grises

El reciclado de aguas consiste en reutilizar las aguas provenientes de las tuberías de lavaderos, lavadoras, duchas y lavatorios, etc., que funciona como una red de captación, en donde luego tienen que ser tratadas para poder darle otros usos que no necesiten de agua de gran calidad como los inodoros.

2.3.2. Agua apta para el consumo humano (agua ACH)

Agua que cumple los criterios de calidad de la normativa vigente según el REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

2.3.3. Agua gris reciclada

Se denomina así al agua gris bruta convenientemente tratada y preparada para ser entregada al punto de uso.

2.3.4. Agua gris bruta

Aguas residuales domésticas procedentes de duchas, bañeras y lavamanos. Se excluyen las aguas procedentes de cocinas, bidets, lavadoras, lavavajillas, procesos industriales o con productos químicos contaminantes y/o un elevado número de agentes patógenos y/o restos fecales.

2.3.5. Aguas negras

Aguas residuales domésticas que contienen materia fecal y orina.

2.3.6. Aguas pluviales

Agua de lluvia, precipitación natural que ha recorrido una columna atmosférica.

2.3.7. Aguas residuales domésticas

Representan el conjunto de las aguas procedentes de cocinas, baños, lavadoras y similares de viviendas.

2.3.8. Capacidad de tratamiento

Volumen de agua que se puede tratar por unidad de tiempo.

2.3.9. Conexión cruzada

Conexión hidráulica física entre dos sistemas separados que puede acarrear contaminación entre ambos.

2.3.10. Desinfección

Proceso que reduce el número de microorganismos en un medio.

2.3.11. Dispositivo de prevención de reflujo

Dispositivo destinado a evitar la contaminación del agua apta para el consumo humano por reflujo.

2.3.12. Punto de uso

Punto último donde el agua es utilizada.

2.3.13. Rebosadero

Dispositivo que permite evacuar por gravedad el exceso de agua del sistema.

2.3.14. Reflujo

Movimiento de un fluido desde aguas abajo hacia aguas arriba en una instalación

2.3.15. Sistemas para el reciclaje de aguas grises

Equipos que permiten el reciclaje de las aguas grises y que consisten en la recogida, tratamiento, almacenamiento y distribución de las aguas tratadas. Se pueden clasificar de diversas formas:

2.3.15.1. Sistemas locales o individuales

Son aquellos sistemas en los que el agua procede exclusivamente de una ducha o bien uno o dos lavamanos, con una acumulación máxima de 100 litros y que suministran el agua gris exclusivamente a una o dos cisternas de inodoro.

2.3.15.2. Sistemas centralizados

Son aquellos sistemas que pueden recoger el agua gris de múltiples procedencias, y que una vez tratadas, sin limitación de acumulación pueden ser enviadas a múltiples puntos de uso.

2.4. Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

2.4.1. Definición de flujo

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

Desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, un fluido es una sustancia que no puede resistir esfuerzo cortante. Si éste se presenta, el fluido se deforma y continúa deformándose mientras el esfuerzo exista. En este proceso de deformación continua, las diferentes partes del fluido cambian de posición relativa en forma permanente; este movimiento relativo se conoce como flujo. En términos sencillos, flujo es el movimiento de un fluido con respecto a un sistema inercial de coordenadas, generalmente ubicado en un contorno sólido.

El flujo en un canal o tubería se puede determinar mediante las siguientes cantidades físicas:

- Desplazamiento de una partícula de fluido.
- Velocidad de una partícula de fluido en un punto del campo de flujo.
- Aceleración de una partícula en un punto del campo de flujo.

(p. 01).

2.4.2. Tipos de flujo

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

Las cantidades anteriores pueden permanecer constantes o variar con el espacio y/o con el tiempo. Con respecto al espacio, los flujos se clasifican en uniformes (si las cantidades físicas permanecen constantes en el espacio) y no uniformes. Con respecto al tiempo se clasifican en permanentes o estacionarios (si las cantidades de flujo

permanecen constantes en el tiempo) y no permanentes. Estos cuatro tipos de flujo se combinan, así:

- Flujo uniforme permanente: Ninguna de las características del flujo (presión y velocidad) varían en el espacio y/o el tiempo.

(p. 02).

Además Saldarriaga J. (2001) agrega que:

- Flujo uniforme no permanente: Las características no varían con el espacio pero sí con el tiempo. Es muy difícil encontrar este tipo de flujo en la naturaleza, debido a que los cambios tendrían que ocurrir en forma simultánea a todo lo largo de la tubería (la velocidad de la señal de cambio tendría que ser infinita).
- Flujo variado permanente: Las características del flujo varían con el espacio pero no con el tiempo. (p. 02).

Además Saldarriaga J. (2001) indica que:

Existen dos subtipos de flujo:

- Gradualmente variado: Los cambios en las características del flujo (presión y velocidad) son graduales a lo largo de la dirección principal de éste. Por ejemplo, las contradicciones y expansiones suaves en tuberías, el flujo a través de tubos Venturi, etc.
- Rápidamente variado. Los cambios del flujo son abruptos a lo largo de la dirección principal de éste. Por ejemplo, las contracciones abruptas en tuberías, el flujo a través de válvulas y los rotores de bombas. Generalmente este tipo de flujo va acompañado de gran turbulencia. (p. 02).

Además Saldarriaga J. (2001) agrega que:

- Flujo variado no permanente: Las características del flujo varían con el espacio y con el tiempo. Debido a que el flujo uniforme no permanente no existe, este nuevo tipo se conoce con el

nombre de flujo no permanente. En el caso de tuberías, el flujo no permanente está relacionado con el fenómeno de golpe de ariete. (p. 02).

2.4.3. Flujo uniforme

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

En el flujo uniforme las características del flujo (presión y velocidad) permanecen constantes en el espacio y en el tiempo. Por consiguiente, es el tipo de flujo más fácil de analizar y sus ecuaciones se utilizan para el diseño de sistemas de tuberías. Como la velocidad no está cambiando, el fluido no está siendo acelerado. Si no hay aceleración, según la segunda ley de Newton para el movimiento, la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre un volumen de control debe ser cero. Es decir, existe un equilibrio de fuerzas. (p. 02).

Además Saldarriaga J. (2001) agrega que:

En el caso del flujo en tuberías actúan tres fuerzas: fuerzas de presión, fuerzas gravitacionales y fuerzas de fricción. Las dos primeras tratan de acelerar el flujo y las últimas tratan de frenarlo. En el caso del flujo uniforme existe un equilibrio entre las fuerzas de fricción, por un lado, y las fuerzas gravitacionales y de presión, por el otro. Dada la importancia de las fuerzas de fricción en el problema del flujo uniforme, el cual es básico para el diseño de sistemas de tuberías, el resto de este capítulo se dedica a estudiarlas. (p. 02).

2.4.4. Pérdidas de energía por fricción: experimentos preliminares

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

Se va a tratar de relacionar el tipo de flujo con las pérdidas de energía que se presentan cuando un fluido se mueve a través de un ducto. Reynolds comprendió que para cuantificarlas su experimento de la tinta no era el más adecuado. Para ese entonces (alrededor del año 1880) se sabía que las pérdidas por unidad de longitud se comportaban en forma diferente para flujo laminar y para flujo turbulento. En consecuencia, pensó en estudiarlas utilizando el aparato ilustrado en la *Figura N° 4*. (p. 07).

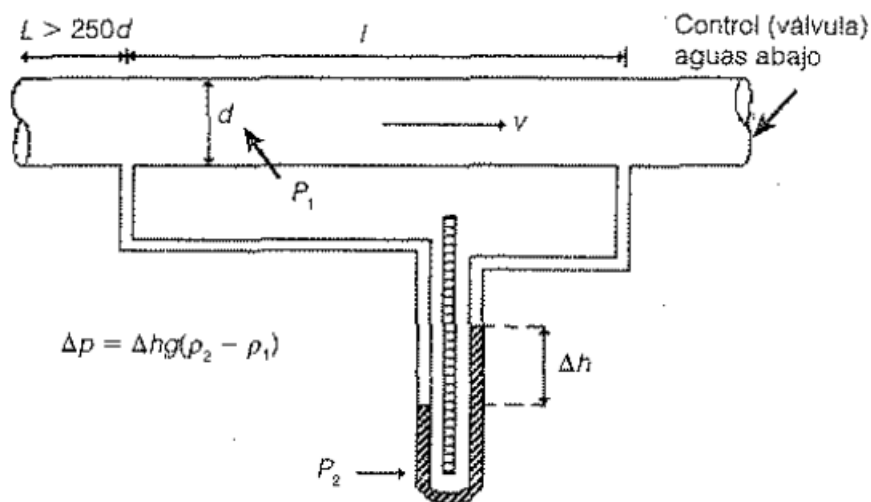


Figura N° 4: Aparato diseñado por Reynolds para estudiar la caída de presión por unidad de longitud a lo largo de una tubería en función del tipo de flujo.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

“Al variar la velocidad media en el tubo, el diámetro de éste y el material o rugosidad de las paredes internas, Reynolds obtuvo los siguientes resultados, expresados en la gráfica de la Figura N° 5”. (p. 08)

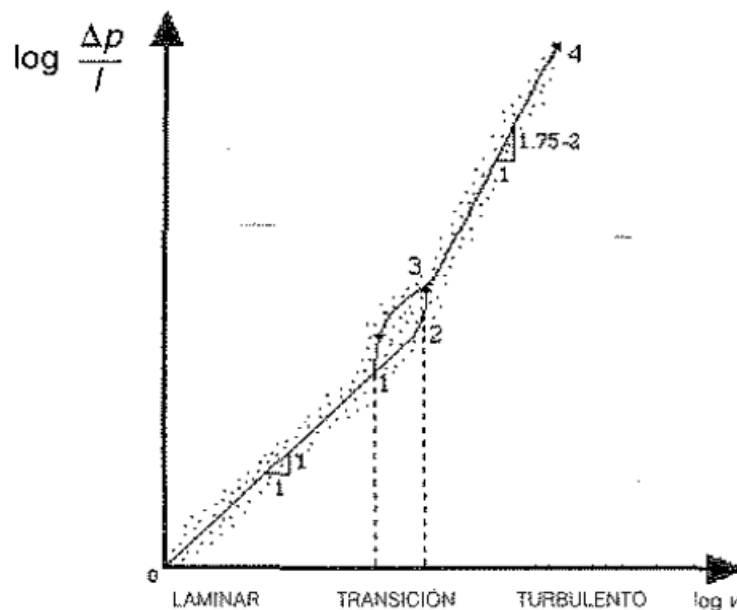


Figura N° 5: Gráfica logarítmica de los resultados del segundo experimento de Reynolds.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) en sus resultados nos indica que:

- La línea 0-1 presentaba una pendiente de 1 a 1, lo cual implicaba una variación lineal de las pérdidas de presión por unidad de longitud con respecto a la velocidad. Esto era válido para el flujo laminar.
- Si el experimento se hacía abriendo la válvula, se alcanzaba a tener flujo laminar hasta el punto 2 ($Re = 2500 - 4000$).
- Si el experimento se hacía cerrando la válvula, el flujo laminar se restablecía en el punto 1 ($Re = 2200$).
- En el punto 3 ($Re > 5000$) la variación $\log(\Delta p/l)$ vs. $\log(v)$ volvía a ser aproximadamente lineal con pendientes desde 1.75, para tubos muy lisos, hasta 2.0 para tubos muy rugosos.
- La zona de transición se obtenía para $2200 Re \leq 5000$. En ésta la variación $\log(\Delta p/l)$ vs, $\log(v)$ era muy compleja. (p. 08).

En conclusión, Saldarriaga J. (2001) nos indica que:

El trabajo de Reynolds llegó hasta este punto, Se estableció que los fluidos se "hacían más viscosos" cuando pasaban de flujo laminar a flujo turbulento, invalidando la ley de viscosidad de Newton [$\tau = \mu(dv/dy)$]. Luego para poder determinar la energía que se perdía en un flujo a través de un ducto por unidad de longitud de éste fue necesario establecer las ecuaciones que gobernaban este "endurecimiento" de los fluidos. (p. 08).

2.4.5. Distribución de esfuerzos en tuberías circulares

Según Saldarriaga J. (2001) nos indica que:

Si se utiliza la ecuación de Bernoulli para el flujo en tuberías se puede encontrar que las pérdidas de energía se manifiestan como pérdidas en la cabeza piezométrica, la cual se define como:

$$\frac{p^*}{\rho g} = \frac{p}{\rho g} + z \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

p^* = presión piezométrica = $p + \rho g z$

p = presión

z = altura hasta un nivel de referencia

ρ = densidad del fluido

g = gravedad. (p. 15).

Además Saldarriaga J. (2001) señala que:

Estas pérdidas son consecuencia del esfuerzo cortante que existe entre el fluido en movimiento y la pared sólida. Para encontrar la distribución de este esfuerzo en la sección transversal del flujo, se debe tomar el fluido contenido en un tramo de tubería (volumen de control) e indicar todas las fuerzas que actúan en él (*Figura N° 6*). (p. 15).

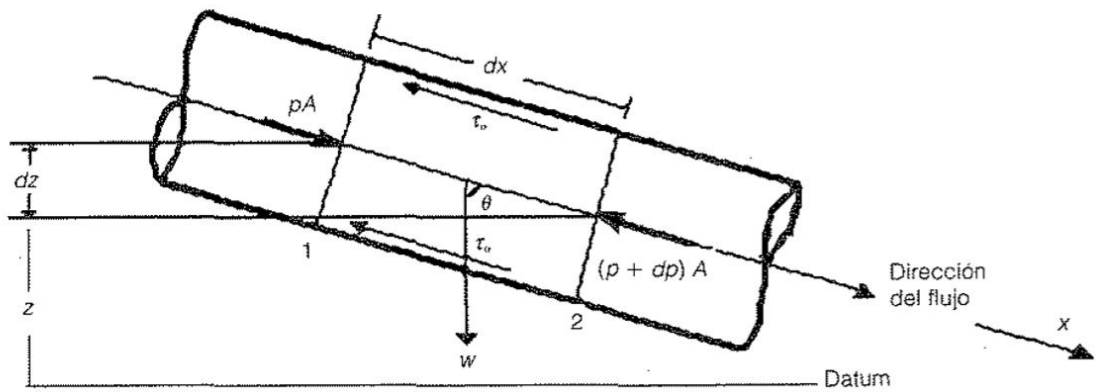


Figura N° 6: Volumen de control para el flujo en una tubería. Se muestran todas las fuerzas que actúan en un fluido contenido en un volumen de control.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) considera que:

Si el fluido contenido en el volumen de control mostrado en la *Figura N° 6* no se está acelerando, entonces $\Sigma F_x = 0$. Teniendo en cuenta este hecho se obtiene la siguiente ecuación:

$$pA - (p + dp) A + W \cos \theta - \tau_o P dx = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

P = perímetro mojado (perímetro interno del tubo)

W = peso del fluido en el volumen de control

El peso del volumen de control es:

$$W = \rho g A dx \quad \dots\dots\dots(3). \text{ (p. 16).}$$

Según Saldarriaga J. (2001) deduce que:

$$-dpA + \rho g A dx \cos \theta - \tau_o P dx = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Pero, de acuerdo con la figura:

$$dx \cos \theta = -dz \quad \dots\dots\dots(5)$$

Por consiguiente,

$$-dpA - \rho g A dz - \tau_o P dx = 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$\tau_o P dx = A (dp + \rho g dz) \dots\dots\dots(7)$$

Como $(p + \rho g z) = p^*$, la presión piezométrica es:

$$\tau_o P dx = A dp^* \dots\dots\dots(8)$$

Se obtiene:

$$\tau_o = \frac{A}{P} \frac{dp^*}{dx}$$

\dots\dots\dots(9)

(p. 16).

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

Se aplica un razonamiento similar a un "tubo" de fluido de radio $r < r_o$ (Figura N° 7) se obtiene:

$$\tau_r = \frac{r}{2} \frac{\Delta p^*}{\Delta x} \dots\dots\dots(10)$$

Al dividir esta última ecuación por la ecuación para r_o se obtiene la expresión:

$$\frac{\tau_r}{\tau_o} = \frac{r}{r_o} \dots\dots\dots(11)$$

(p. 17).

Esta última ecuación indica una variación lineal de τ con respecto a r , tal como se muestra en la siguiente Figura N° 7:

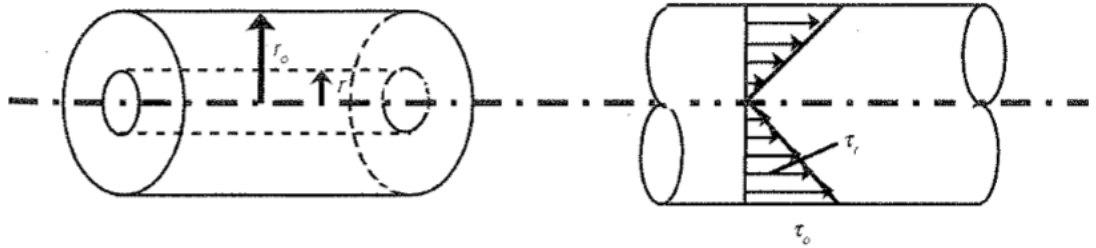


Figura N° 7: Distribución lineal del esfuerzo cortante en tuberías circulares.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Ahora, utilizamos Ecc. (9) y se obtiene:

$$\tau_o = \frac{A}{p} \frac{\rho g h}{l} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

h_f = pérdidas por fricción

l = longitud del tramo de tubería

De nuevo, para los tubos circulares:

$$\tau_o = \frac{\rho g h_f r_o}{2l} \dots\dots\dots(13)$$

Según Saldarriaga J. (2001) concluye que:

Esta última ecuación establece una relación directa entre el esfuerzo cortante en la pared de una tubería y la caída en la cabeza piezométrica h_f . De ahí que sea un primer paso para la deducción de una ecuación de diseño. Es importante tener en cuenta que dicha caída de cabeza es la que ocurre en un tramo de la tubería de longitud l , el cual debe ser recto, estar hecho de un solo material y no debe tener ningún tipo de accesorios que produzcan pérdidas adicionales de energía. (p. 18).

2.4.6. Distribución de velocidades en tuberías circulares

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

En esta parte se examinan las distribuciones de velocidad en las secciones transversales de tuberías circulares. Posteriormente, dichas distribuciones son utilizadas para establecer las diferencias entre los tipos de flujo y, por último, para establecer las ecuaciones de resistencia fluida, las cuales se utilizarán para el diseño de sistemas de tuberías. (p. 18).

- Flujo laminar:

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

En el caso de flujo laminar en tuberías, el esfuerzo cortante está definido por la ecuación de Newton para fluidos viscosos:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dr} \dots\dots\dots(14)$$

Para tuberías circulares, de acuerdo con la distribución de esfuerzos, se tiene:

$$\tau_r = \mu \frac{dv}{dr} = \tau_o \frac{r}{r_o} \dots\dots\dots(15)$$

Dónde: $r < r_o$

De la ecuación (15) se obtiene:

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\tau_o}{\mu} \frac{r}{r_o} \dots\dots\dots(16)$$

Cuando se integra con respecto al radio r se obtiene la distribución de velocidades:

$$v = \int dv = \frac{\tau_o}{\mu r_o} \int_0^r r dr$$

$$v = \frac{\tau_o}{\mu r_o} \left(\frac{r^2}{2} \right) + c_1 \dots\dots\dots(17)$$

Para evaluar la constante de integración se utiliza el hecho de que cuando $r = r_o$, $V = 0$; luego:

$$c_1 = - \frac{\tau_o}{2\mu} r_o \dots\dots\dots(18)$$

Finalmente:

$$v = \frac{\tau_o}{2\mu} \left(\frac{r^2}{r_o} - r_o \right) \dots\dots\dots(19)$$

(p. 18).

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

“La Figura N° 8 expresa una distribución parabólica de la velocidad. En flujo laminar, la velocidad sigue esta distribución con su máximo en el centro y su mínimo ($v = 0$) en las paredes internas de la tubería.” (p. 19).

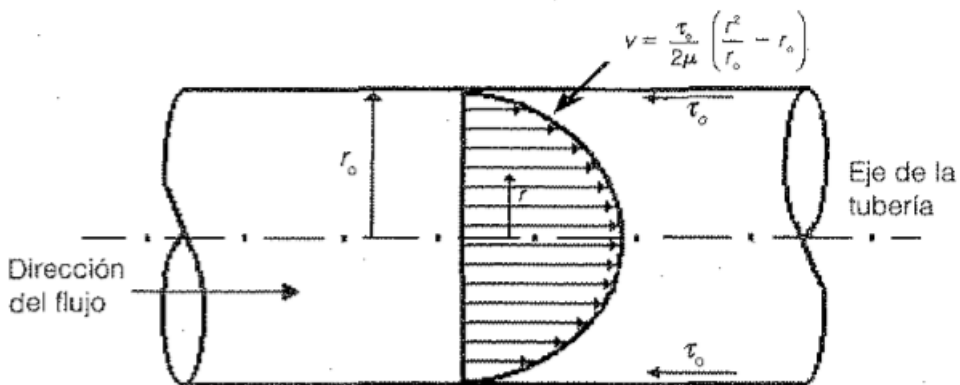


Figura N° 8: Distribución de velocidades para flujo laminaren una tubería de sección circular.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

2.4.7. Perfiles de velocidad

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

Una vez determinados los diferentes perfiles de velocidad para el flujo en tuberías circulares, se utiliza la ecuación (19) que describe el perfil de velocidad para flujo laminar:

$$v = \frac{\tau_o}{2\mu} \left(\frac{r^2}{r_o} - r_o \right) \dots\dots\dots(19)$$

Se pueden establecer las siguientes relaciones entre la velocidad y la velocidad media ($\bar{v} = Q/A$) para el flujo laminar.

- Flujo laminar:

$$\frac{v}{\bar{v}} = 2 \left(2 \frac{y}{r_o} - \frac{y^2}{r_o^2} \right) \dots\dots\dots(20)$$

Donde:

y = distancia medida desde la superficie interna de la tubería en dirección hacia el eje de ésta.

r₀ = radio total de la tubería. (p. 29).

2.4.8. Ecuaciones para el diseño de tuberías circulares

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

“Los objetivos son, por un lado, establecer las ecuaciones más utilizadas para el diseño de tuberías circulares, para el flujo laminar y, por el otro, establecer en forma clara la frontera que diferencia el flujo hidráulicamente liso del flujo hidráulicamente rugoso.” (p. 32).

- Flujo laminar

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Para establecer las condiciones y principios que gobiernan el flujo en tuberías bajo el régimen de flujo laminar se deben tener en cuenta dos principios:

- ✓ En este tipo de flujo las fuerzas viscosas priman sobre las fuerzas inerciales.
- ✓ En este caso se cumple la ecuación de Newton para fluidos viscosos:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots(21).$$

(p. 33).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Las ecuaciones que controlan el flujo laminar fueron desarrolladas por dos investigadores en forma simultánea e independiente: G. Hagen (ingeniero alemán, 1794-1884) trabajó en tubos de cobre y encontró que la pérdida de cabeza era proporcional al caudal que pasaba por la tubería e inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro de ésta:

$$\Delta h \propto \frac{Q}{d^4} \dots\dots\dots(22)$$

J. Poiseuille (médico francés. 1799-1869), al investigar en 1840 el flujo de sangre en las venas llegó a las mismas conclusiones. Lo interesante es que los resultados de la investigación no son aplicables al cuerpo humano, ya que la sangre es un fluido no newtoniano y las venas y arterias no son tubos rígidos; pero en cambio sí son aplicables a la ingeniería. (p. 33).

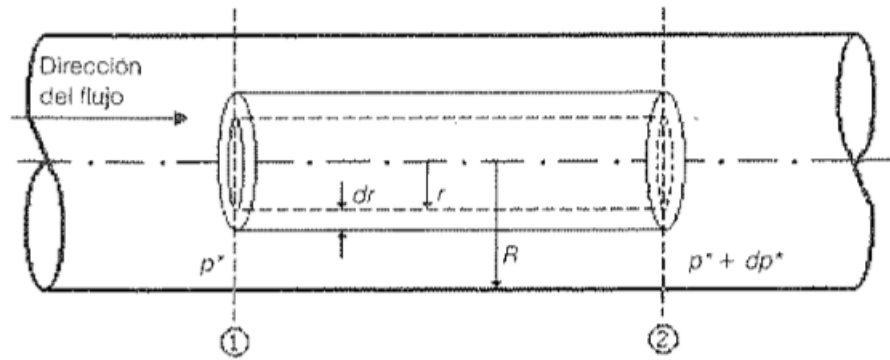


Figura N° 9: Esquema de flujo laminar en tuberías tal como el utilizado por Hagen y Poiseuille.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Nota: Se muestra un cilindro de corriente dentro del flujo general en la tubería. R es el radio total; res un radio variable que describe los diferentes cilindros de corriente.

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

El proceso seguido por los dos investigadores se puede resumir de acuerdo con el siguiente planteamiento. Con base en la *Figura N° 9* y suponiendo que el flujo se encuentra completamente desarrollado, es decir, se consideran secciones (a una distancia apreciable de la entrada) se aplica la ecuación (10) de distribución de esfuerzos en tuberías circulares:

$$\tau_r = \frac{r}{2} \frac{\delta p^*}{\delta x} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

$$p^* = p + \rho g z \dots\dots\dots(24)$$

$$\tau = \mu \frac{\delta v}{\delta r} \dots\dots\dots(25)$$

Luego, definen las siguientes ecuaciones:

$$\mu \frac{\delta v}{\delta r} = \frac{r}{2} \frac{\delta p^*}{\delta x} \dots\dots\dots(26)$$

(p. 33).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Para el caso del flujo laminar en tuberías, debido a que la velocidad sólo es función del radio y la presión piezométrica es constante en la sección transversal de la tubería, los diferenciales parciales pueden remplazarse por diferenciales totales:

$$\frac{\delta v}{\delta r} = \frac{dv}{dr} \dots\dots\dots(27)$$

$$\frac{\delta p^*}{\delta x} = \frac{dp^*}{dx} \dots\dots\dots(28)$$

Luego se rempazan estas dos expresiones en la anterior ecuación se obtiene:

$$\mu \frac{dv}{dr} = \frac{r}{2} \frac{dp^*}{dx} \dots\dots\dots(29)$$

Y por consiguiente:

$$\frac{dv}{dr} = \frac{r}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} \dots\dots\dots(30).$$

(p. 34).

Según Saldarriaga J. (2001) continúa deduciendo que:

De esta última ecuación se obtiene la siguiente expresión para el diferencial de velocidad:

$$dv = \frac{1}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} r dr \dots\dots\dots(31)$$

Si se integra esta última ecuación en una sola sección transversal (sección 2 de la *Figura N° 9*, por ejemplo), con respecto al radio se obtiene:

$$v = \int_0^r dv = \frac{1}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} \int_0^r r dr \dots\dots\dots(32)$$

En conclusión:

$$v = \frac{r^2}{4\mu} \frac{dp^*}{dx} + c_1 \dots\dots\dots(33)$$

(p. 34).

Según Saldarriaga J. (2001) nos dice que:

Para evaluar la constante de integración se utiliza la siguiente condición de frontera:

$$r = R \text{ entonces } V = 0$$

Luego:

$$0 = \frac{R^2}{4\mu} \frac{dp^*}{dx} + c_1 \dots\dots\dots(34)$$

De donde,

$$c_1 = - \frac{R^2}{4\mu} \frac{dp^*}{dx} \dots\dots\dots(35)$$

Al remplazar en la ecuación (33), para el cálculo de la velocidad en función del radio se obtiene la siguiente ecuación:

$$v = - \frac{1}{4\mu} \frac{dp^*}{dx} (R^2 - r^2)$$

\dots\dots\dots(36)

(p. 35).

Según Saldarriaga J. (2001) nos dice que:

Para longitudes no diferenciales de la tubería, esta ecuación se puede aproximar como:

$$v = \frac{1}{4\mu} \frac{(p_1^* - p_2^*)}{l} (R^2 - r^2) \dots\dots\dots(37)$$

El signo negativo de la ecuación (37) significa que el vector velocidad tiene dirección contraria al vector esfuerzo cortante. Esta ecuación se conoce como la ecuación de Hagen~Poiseuille, en honor a los dos Investigadores. En su forma original no es muy útil; es más usada bajo otra forma que se obtiene a través del siguiente procedimiento:

- Se define un diferencial de caudal que pasa por el anillo del área diferencial de la *Figura N° 9*:

$$dQ = v 2\pi r dr \dots\dots\dots(38)$$

- Se reemplaza la velocidad v utilizando la ecuación (36):

$$dQ = - \frac{1}{4\mu} \frac{dp^*}{dx} (R^2 - r^2) 2\pi r dr$$

$$dQ = - \frac{\pi}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} (R^2 r - r^3) dr \dots\dots\dots(39)$$

(p. 35).

Según Saldarriaga J. (2001) continúa agregando que:

- Se encuentra el caudal total que pasa a través de la sección transversal integrando la ecuación (39) con respecto al radio r variando entre 0 y R:

$$Q = \int_0^R dQ = \int_0^R - \frac{\pi}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} (R^2 r - r^3) dr$$

$$Q = - \frac{\pi}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} \int_0^R (R^2 r - r^3) dr$$

$$Q = - \frac{\pi}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} \left[\frac{R^2 r^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right]_0^R$$

$$Q = - \frac{\pi}{2\mu} \frac{dp^*}{dx} \frac{R^4}{4}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\frac{dp^*}{dx} = - \frac{p_1^* - p_2^*}{l}$$

Aproximación válida para flujo uniforme (permanente) unidimensional en tuberías, se llega a lo siguiente:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\mu l} (p_1^* - p_2^*) \dots\dots\dots(40)$$

Dado que en el diseño de tuberías no es usual trabajar con el radio sino con el diámetro, la última ecuación se convierte en:

$$Q = \frac{\pi d^4}{128\mu l} (p_1^* - p_2^*) \dots\dots\dots(41)$$

(p. 36).

Además Saldarriaga J. (2001) continúa agregando que:

Esta ecuación es la forma más usual de la ecuación de Hagen~Poiseuille. La diferencia en la presión piezométrica puede ser remplazada por la diferencia encabeza piezométrica (caída de la línea de gradiente hidráulico entre los puntos 1y 2), con lo cual se obtiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\pi d^4}{128 \mu l} \rho g \Delta h$$

De donde se obtiene la siguiente ecuación

$$Q = \frac{\pi d^4}{128} \frac{\rho g}{\mu} \frac{\Delta h}{l} \dots\dots\dots(42)$$

La relación entre la caída piezométrica y la longitud es la pendiente de fricción:

$$\frac{\Delta h}{l} = S_f$$

Luego:

$$Q = \frac{\pi d^4 \rho g S_f}{128 \mu}$$

(p. 37).

Según Saldarriaga J. (2001) indica que:

Otro resultado interesante que puede ser calculado mediante la ecuación de Hagen-Poiseuille es la magnitud de la velocidad media en una tubería bajo condiciones de flujo laminar; al utilizar la ecuación (37) se tiene:

$$v = \frac{1}{4\mu} \frac{(\rho_1^* - \rho_2^*)}{l} (R^2 - r^2)$$

La velocidad máxima se presenta en el centro de la tubería, es decir cuando $r = 0$

$$v_{\max} = \frac{R^4}{4\mu} \frac{(p_1^* - p_2^*)}{l} \dots\dots\dots(43)$$

La velocidad media se calcula al dividir el caudal (ecuación (40)) por el área mojada:

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} = \frac{\frac{\pi R^2}{8\mu l} (p_1^* - p_2^*)}{\pi R^2}$$

Luego:

$$\bar{v} = \frac{R^2}{8\mu} \frac{(p_1^* - p_2^*)}{l} \dots\dots\dots(44)$$

Si se comparan las ecuaciones (43) y (44), se llega al siguiente resultado:

$$\bar{v} = \frac{1}{2} v_{\max} \dots\dots\dots(45)$$

$$\frac{R^2}{8\mu} \frac{p_1^* - p_2^*}{l} = \frac{1}{4\mu} \frac{(p_1^* - p_2^*)}{l} (R^2 - r^2)$$

$$\frac{R^2}{2} = (R^2 - r^2)$$

$$r^2 = \frac{R^2}{2}$$

$$r = \frac{R}{\sqrt{2}} = 0.707 R \dots\dots\dots(46)$$

Esta última ecuación establece que la velocidad media en un flujo laminar se debe medir a una distancia igual al 70% del radio, medida desde el centro de la tubería. (p. 37).

2.4.9. Trabajos de Lewis Moody. Diagrama de Moody

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Tal vez el trabajo experimental más importante fue el desarrollado por el ingeniero norteamericano Lewis F. Moody a principios de la década de 1940, cuyos resultados conformaron un artículo clásico (Moody, 1944).

Moody se basó en los resultados de Nikuradse y de C. E Colebrook con el fin de investigar las pérdidas por fricción en tuberías con rugosidades reales y no artificiales. Sus trabajos se pueden resumir en los siguientes puntos. (p. 51).

Según Saldarriaga J. (2001) menciona que:

- En primer lugar, Moody observó que en el diagrama de Nikuradse el factor de fricción f sólo era función de la rugosidad relativa (k_s/d) para flujos hidráulicamente rugosos. Esto correspondía a la parte horizontal de las curvas correspondientes a cada una de dichas rugosidades. Al tomar los puntos (k/d , f) del extremo derecho del diagrama de Nikuradse, pudo producir la curva del factor de fricción para flujo hidráulicamente rugoso que aparece en la *Figura N° 10*.
- Una vez establecida la curva anterior, tomó tuberías comerciales de diferentes materiales (acero, acero ribeteado, hierro dulce, hierro galvanizado, concreto, etc.) y diámetros, las cuales llevó al laboratorio a fin de medir las pérdidas por fricción y calcular su factor de fricción para flujo hidráulicamente rugoso. Con el

factor de fricción calculó la rugosidad relativa utilizando la *Figura N° 10*. Finalmente, con esta rugosidad y con el diámetro de la tubería pudo calcular la rugosidad absoluta k_s . (p. 51).

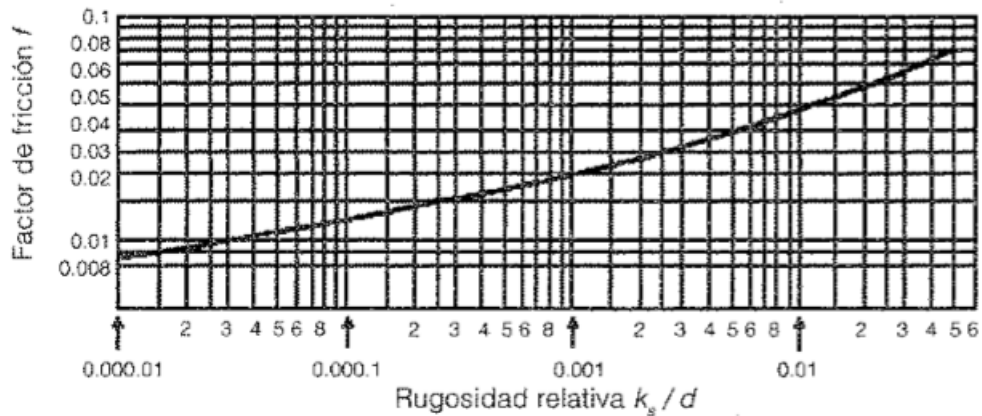


Figura N° 10: Factor de fricción para fluía altamente turbulento.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Moody encontró que a pesar de que la rugosidad real de las tuberías comerciales era muy diferente a la rugosidad artificial obtenida pegando arena en el perímetro interno de tuberías, se podía obtener una rugosidad equivalente a la rugosidad de arena para cada material. Es decir, encontró que independientemente del diámetro, cada material se comportaba siempre como una arena (en cuanto a la rugosidad) de diámetro constante. Por consiguiente, cada material tenía una rugosidad equivalente que establecía su comportamiento hidráulico.

Por ejemplo, estableció que el acero comercial se comportaba hidráulicamente como un tubo con arena de 0.045 mm de diámetro y que la hiena dulce equivalía a una arena de 0.26 mm de diámetro. Con estos resultados produjo el diagrama mostrado en la *Figura N° 11*, el cual se conoce hoy en día como el diagrama de Moody modificado o diagrama de rugosidades relativas. En éste, la relación

establecida en la *Figura N° 10* aparece como la correspondencia biunívoca entre las dos escalas verticales. Es importante aclarar que hasta este punto los resultados de Moody sólo eran aplicables al caso de flujo hidráulicamente rugoso. (p. 51).

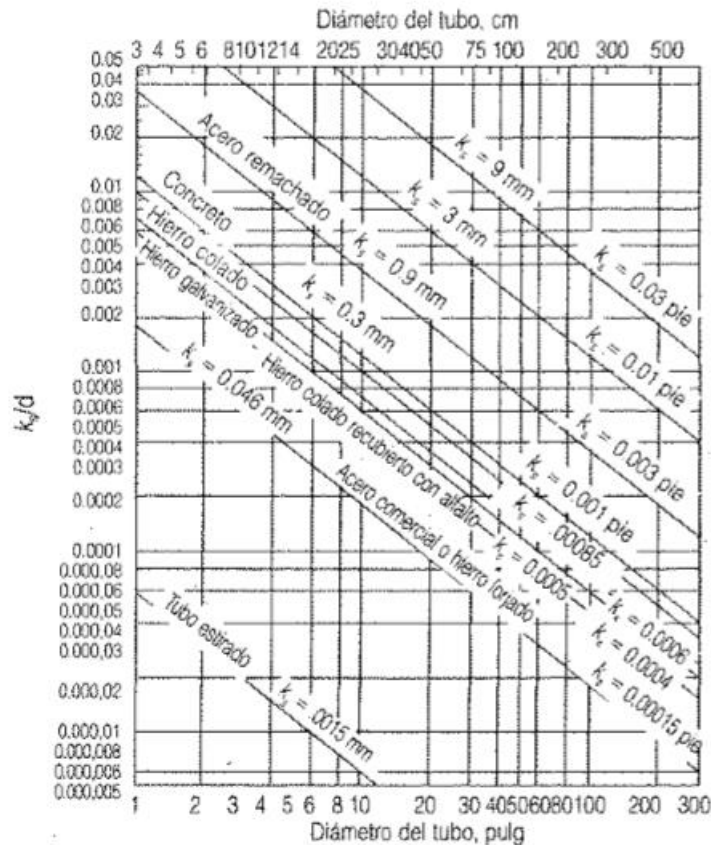


Figura N° 11: Diagrama de Moody modificado (rugosidades relativas).

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Utilizando sus resultados y la ecuación de Colebrook-White (p. 61), Moody pudo producir una nueva gráfica en la cual incluía todo el rango de flujo, desde laminar hasta turbulento hidráulicamente rugoso, con el fin de estudiar el comportamiento de factor de fricción f para tuberías comerciales. Esta gráfica (*Figura N° 12*) se conoce como el diagrama de Moody. Durante mucho tiempo fue la única herramienta práctica para el cálculo del factor de fricción que debía utilizarse en conjunto con la ecuación de Darcy-Weisbach, ya que las ecuaciones matemáticamente deducidas resultaron ser tan

complejas que requirieron métodos numéricos para su solución. En la época anterior a la masificación del uso de computadores y calculadoras programables, el tener que utilizar métodos iterativos para el diseño de tuberías resultaba engorroso y poco práctico. (p. 52).

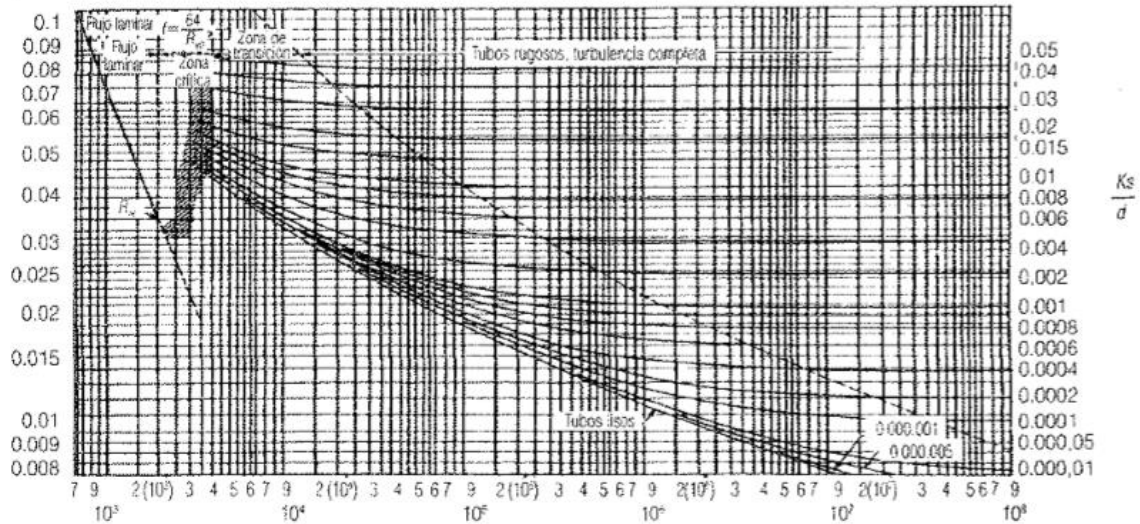


Figura N° 12: Diagrama de Moody.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

La semejanza entre los diagramas de Nikuradse y de Moody salta a la vista. En ambos existen la zona laminar, la curva correspondiente al flujo hidráulicamente liso y las líneas horizontales que describen el flujo hidráulicamente rugoso para cada rugosidad relativa. Así mismo, en ambos existe la zona de flujo transicional, aunque es en esa zona en donde se aprecia una marcada diferencia.

En el diagrama de Nikuradse cada curva correspondiente a una rugosidad relativa se separa en forma abrupta de la curva hidráulicamente lisa. En el diagrama de Moody las curvas correspondientes a cada rugosidad relativa se aproximan en forma asintótica a la curva lisa. Esto sucede porque en los tubos de Nikuradse la rugosidad tiene un tamaño uniforme y, por consiguiente, al aumentar el número de Reynolds y disminuir el

espesor de la subcapa laminar viscosa, el efecto de la rugosidad se siente simultáneamente. En los tubos reales la rugosidad no es uniforme, lo cual implica que su efecto sobre la hidráulica del fondo es gradual. Este planteamiento se esquematiza en la *Figura N° 13*. En los tubos de Nikuradse la rugosidad afecta en forma simultánea la hidráulica del flujo. En los tubos reales, ese efecto es gradual, es decir, las mayores prominencias de la rugosidad afectan el flujo antes que las menores. (p. 53).

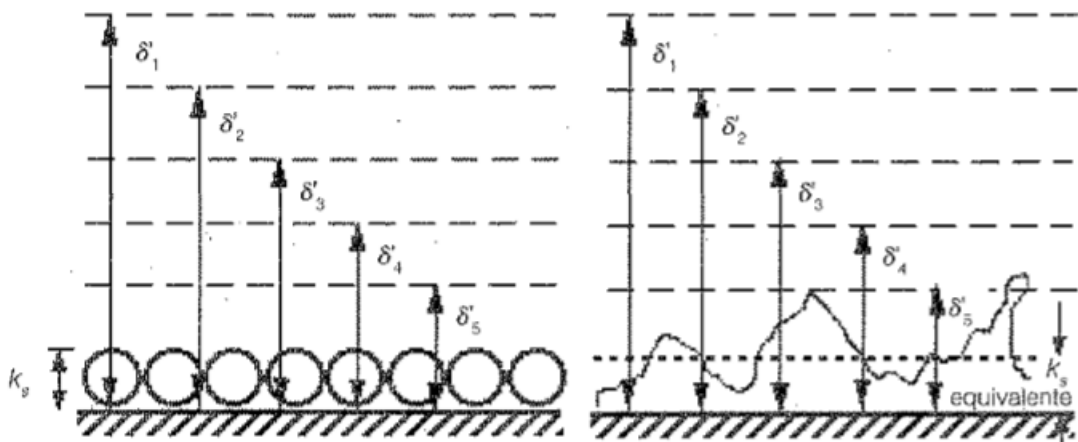


Figura N° 13: El espesor de la subcapa laminar viscosa (a) disminuye a medida que el número de Reynolds y el caudal aumentan.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

2.4.10. Diseño de la tubería

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

En este caso se conoce el caudal demandado, la potencia disponible (bomba o diferencia de nivel generada por un embalse o tanque), algunas de las características de la tubería (longitud y accesorios necesarios con sus correspondientes coeficientes de pérdidas menores) y las propiedades del fluido (densidad y viscosidad dinámica). Se desconoce el diámetro necesario para permitir el paso del caudal demandado. Por lo general, en cuanto al material de la

tubería se tienen dos o tres alternativas, lo cual implica que se conoce la rugosidad absoluta de la tubería pero es necesario hacer tantos diseños como diferentes materiales se encuentren disponibles en el sitio del proyecto con el fin de escoger la mejor alternativa. (p. 76).

VARIABLES CONOCIDAS

$$k_s, Q(\text{o } v), H(\text{o } P), \Sigma k_m, \rho, \mu, g, l$$

INCÓGNITA

d

2.4.11. Ecuaciones para el diseño de tuberías simples

Mediante el uso de las ecuaciones de Colebrook-White conjuntamente con la ecuación de Darcy-Weisbach se puede desarrollar el siguiente procedimiento:

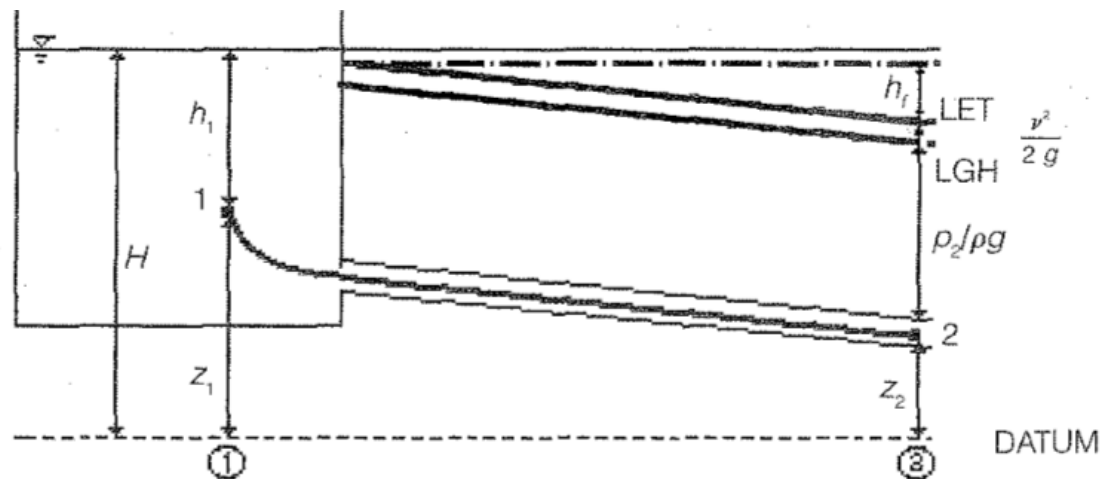


Figura N° 14: Esquema representativo de una tubería.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

Nota: El punto 1 se localiza bastante dentro del tanque de tal manera que su velocidad sea aproximadamente 0. El punto 2 se localiza aguas abajo en el flujo dentro de la tubería.

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

A partir de la *Figura N° 14*, que corresponde a una tubería simple alimentada por un tanque de nivel constante, se puede plantear la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, para llegar a la siguiente ecuación:

$$h_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + h_f + \sum h_m \dots\dots\dots(47)$$

Si el punto 2 corresponde a la salida, de la tubería, caso muy común en este tipo de análisis, ocurren tres Cosas en la ecuación anterior. En primer lugar, el término de la cabeza de velocidad desaparece, ya que se supone que en la salida el flujo pierde su velocidad. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, el término de sumatoria de pérdidas menores debe incluir un término de pérdidas por salida. Por último, la presión en la salida es igual a la atmosférica (presión manométrica nula); luego:

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0; \frac{p_2}{\rho g} = 0 \dots\dots\dots(48)$$

(p. 77).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Es claro que para el punto 1, $h_1 + Z_1 = H$, donde H es la altura del nivel de la superficie del tanque con respecto al datum. Luego:

$$H = z_2 + h_f + \sum h_m \dots\dots\dots(49)$$

De esta última expresión se puede obtenerla siguiente ecuación, la cual describe las pérdidas por fricción en función de las otras variables:

$$h_f = H - z_2 - \sum k_m \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(50)$$

(p. 77).

Además Saldarriaga J. (2001) señala que:

Sí el punto 2 no corresponde a la salida de la tubería, la ecuación (50) tendría que incluir un término de cabeza de velocidad y la

sumatoria de las pérdidas menores no debería incluir un término de pérdidas por salida.

Adicionalmente debería incluir la cabeza de presión en el punto 2. Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (ecuación 47), que también predice las pérdidas por fricción, se puede despejar el factor de fricción f :

$$f = \frac{h_f d 2 g}{l v^2}$$

Lo cual implica que:

$$f = \frac{h_f d 2 g}{l v^2}$$

Y que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{v \sqrt{l}}{\sqrt{2 g d h_f}} \dots\dots\dots(51)$$

Al reemplazar la ecuación (51) en la ecuación (52) se obtiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots(52)$$

$$\frac{v \sqrt{l}}{\sqrt{2 g d h_f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 d} + \frac{2.51 v \sqrt{l}}{Re \sqrt{2 g d h_f}} \right)$$

(p. 78).

Además Saldarriaga J. (2001) añade que:

El número de Reynolds en esta última ecuación puede reemplazarse por:

$$Re = \frac{v d}{\nu} \dots\dots\dots(53)$$

Por consiguiente, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{v \sqrt{l}}{\sqrt{2 g d h_f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 d} + \frac{2.51 \nu v \sqrt{l}}{v d \sqrt{2 g d h_f}} \right) \dots\dots(54)$$

Finalmente, si se despeja la velocidad se encuentra una ecuación explícita para esa variable:

$$v = \frac{-2 \sqrt{2 g d h_f}}{\sqrt{l}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 d} + \frac{2.51 \nu \sqrt{l}}{d \sqrt{2 g d h_f}} \right) \dots\dots(55)$$

Esta última ecuación es la base para la solución de los tres tipos de problemas relacionados con tuberías simples mencionados anteriormente. (p. 79)

2.4.12. Comprobación de diseño

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

En este caso se conocen todas las características de la tubería: la longitud, el diámetro, la rugosidad absoluta y los diferentes coeficientes de pérdidas menores de cada uno de los accesorios. También se conocen las propiedades del fluido, es decir, la densidad y la viscosidad dinámica. La incógnita es la velocidad y, por consiguiente, el caudal que pasa por la tubería. Obviamente se deben conocer la cabeza disponible o la potencia y la eficiencia de la bomba. (p. 79).

En la Figura N° 15, se muestra un diagrama con el procedimiento para la comprobación del diseño de las tuberías simples.

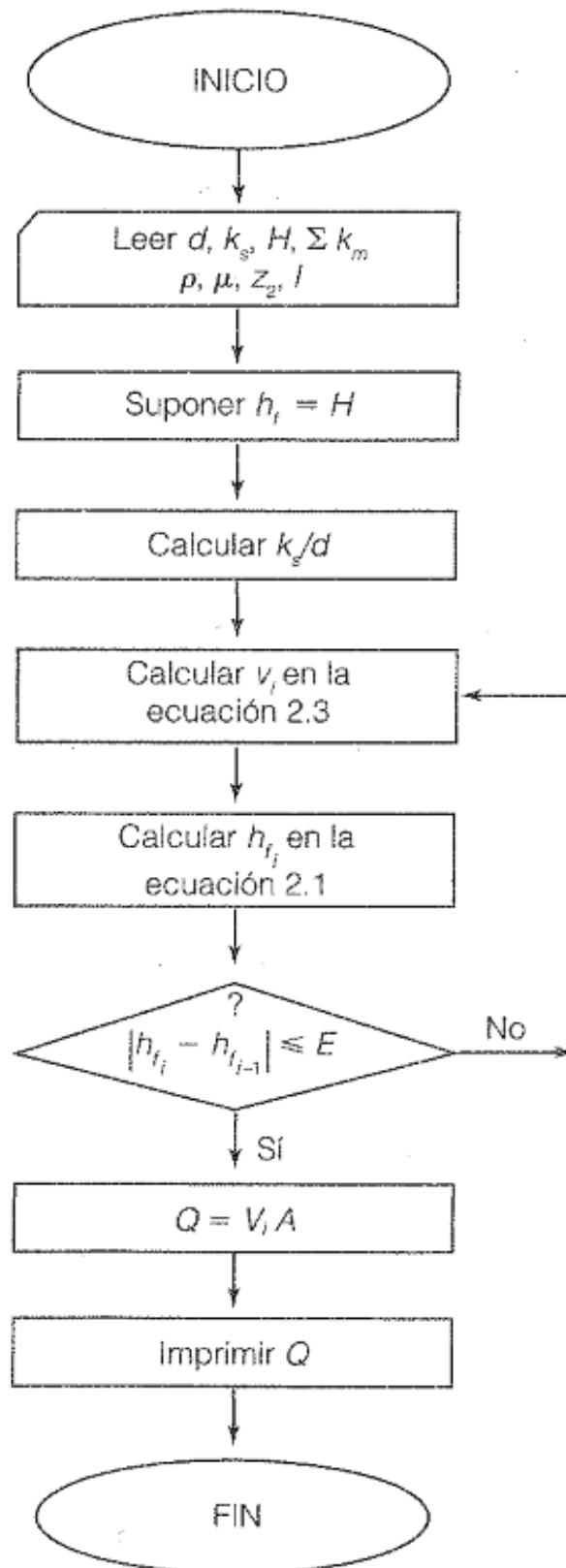


Figura N° 15: Comprobación de diseño de tuberías simples.

Fuente: Juan Saldarriaga, (2001).

2.4.13. La ecuación de Hazen-Williams

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Una de las ecuaciones empíricas, independientes del análisis de Darcy, más exitosas fue la de Hazen-Williams (desarrollada por G. S. Williams y A. H. Hazen en 1933). La forma original de esta ecuación, planteada en unidades del sistema internacional, era la siguiente:

$$v = 0.849 C_{HW} R^{0.63} S^{0.54} \dots\dots\dots(56)$$

Donde:

v = velocidad media de la tubería en m/s

R = radio hidráulico en m

S = pérdida de energía por unidad de peso (cabeza) por unidad de longitud

C_{HW} = coeficiente de rugosidad de la tubería (p. 127).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

La ecuación de Hazen-Williams tiene la ventaja de ser explícita para la velocidad y, por consiguiente, para el caudal. Si bien el uso de dicha ecuación, para los tres tipos de problemas en el diseño de tuberías, es muy sencillo, es importante entenderla a la luz de la metodología expuesta en el capítulo 1. Si se reemplaza el radio hidráulico por la cuarta parte del diámetro de la tubería:

$$R = \frac{d}{4}$$

Y la pendiente de energía por las pérdidas por unidad de longitud:

$$S = \frac{h_f}{l}$$

En la ecuación (56) se obtiene:

$$v = 0.849 C_{HW} \frac{d^{0.63}}{2.395} \frac{h_f^{0.54}}{f^{0.54}}$$

Si se despeja h_f se obtiene:

$$h_f^{0.54} = \frac{2.821 f^{0.54}}{C_{HW} d^{0.63}} v$$

$$h_f = \frac{6.8241 l}{C_{HW}^{1.851} d^{1.167}} v^{1.851}$$

$$h_f = \left(\frac{6.8241 \times 2 \times g \times l}{C_{HW}^{1.851} d^{1.167} v^{0.15}} \right) \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(57)$$

(p. 128)

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Comparando la ecuación (57) con la ecuación de Darcy-Weisbach se llega a:

$$h_f = \left(\frac{6.8241 \times 2 \times g}{C_{HW}^{1.851} d^{0.167} v^{0.15}} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

De esta última ecuación se obtiene la siguiente expresión para el factor de fricción:

$$f = \frac{133.89}{C_{HW}^{1.851} d^{0.167} v^{0.15}}$$

Si se multiplica y divide esta última ecuación por $v^{0.15}$, se obtiene la siguiente expresión para el factor de fricción f de Darcy en función del coeficiente de Hazen-Williams (C_{HW}):

$$f = \frac{133.89 v^{0.15}}{C_{HW}^{1.851} d^{0.167} v^{0.15} v^{0.15}}$$

En esta última expresión se identifica fácilmente el número de Reynolds del flujo. Luego:

$$f = \frac{133.89}{C_{HW}^{1.851} d^{0.017} \nu^{0.15} Re^{0.15}} \dots\dots\dots(58)$$

Al despejar el coeficiente de Hazen-Williams se obtiene:

$$C_{HW}^{1.851} = \frac{133.89}{f d^{0.017} \nu^{0.15} Re^{0.15}}$$

De donde:

$$C_{HW} = \frac{14.09}{f^{0.54} d^{0.009} Re^{0.081} \nu^{0.081}} \dots\dots\dots(59)$$

(p.128).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Esta última ecuación indica que el coeficiente de Hazen-Williams (CHW) es más una medida de la rugosidad relativa que de la rugosidad absoluta. El coeficiente C_{hw} no es una característica física del tubo, como sí lo es la rugosidad absoluta k_s , la cual es utilizada para obtener el factor f . Es una característica del tubo y del fluido. Por esta razón, el uso de la ecuación de Hazen-Williams tiene que estar limitado a ciertas características del fluido y del flujo.

Los límites, establecidos claramente por los dos investigadores son los siguientes:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales.
- El diámetro debe ser superior o igual a 2 pulgadas.
- La velocidad en las tuberías se debe limitar a 3 m/s.

Al volver a la ecuación de Hazen-Williams (3.4) en su forma original:

$$v = 0.849 C_{HW} R^{0.63} S^{0.54}$$

Es fácil obtener la siguiente expresión para las pérdidas por fricción (reemplazando S por h_f/L):

$$h_f = \frac{6.824 \times l \times v^{1.851}}{C_{HW}^{1.851} d^{1.167}} \dots\dots\dots(60)$$

(p. 129).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

Esta última ecuación es explícita para las pérdidas por fricción. En esa característica radica la gran ventaja de la ecuación de Hazen-Williams sobre la ecuación de Darcy-Weisbach utilizada conjuntamente con la ecuación de Colebrook-White. Dicha ventaja hizo que el uso de la ecuación de Hazen-Williams se popularizara, especialmente entre los ingenieros civiles y sanitarios de los Estados Unidos encargados del desarrollo de los sistemas de acueducto de las ciudades norteamericanas. Este uso extendido se reflejó en las normas de diseño expedidas en ese país, las cuales fueron heredadas por muchos otros países. Uno de los grandes méritos de esta ecuación es la posibilidad, a través de la experiencia, de "calibrar" una tubería, es decir, establecer fácilmente cuál es la pérdida de cabeza que debe tener para un determinado caudal sin necesidad de medirla, lo cual permite detectar fugas en forma rápida. (p. 130).

Según Saldarriaga J. (2001) señala que:

La desventaja de la ecuación de Hazen-Williams radica en que algunas veces se olvida que es una ecuación válida para un determinado rango de velocidades y de diámetros de las tuberías. De esta manera, lleva a diseños ineficientes, ya que en general por fuera de los rangos de validez la ecuación tiende a sobrestimar los

diámetros requeridos, fenómeno que más adelante se explicará en detalle. Por otro lado, a partir del gran auge en el uso de computadores, la utilización de una ecuación no explícita dejó de ser un problema. Por esta razón se ha vuelto a generalizar, en especial en los países europeos, el uso de la ecuación físicamente basada de Darcy-Weisbach, la cual no tiene ningún tipo de restricciones. (p. 130).

2.4.14. Método de Hunter para gastos probables

Según Castro N., Garzón Jorge., Ortiz R., (2006) señala que:

Para el dimensionamiento de las tuberías se tiene en cuenta que todos los aparatos instalados no funcionan simultáneamente; por esta razón se deben distinguir varios tipos de caudal.

El método pretende evaluar el caudal máximo probable y se basa en el concepto de que únicamente unos pocos aparatos, de todos los que están conectados al sistema, entrarán en operación simultánea en un instante dado. El efecto de cada aparato que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de:

- Caudal del aparato, o sea la rata de flujo que deja pasar el servicio (q).
- Frecuencia de uso: tiempo entre usos sucesivos (T).
- Duración de uso: tiempo que el agua fluye para atender la demanda del aparato (t).

El método es aplicable a grandes grupos de elementos, ya que la carga de diseño es tal que tiene cierta probabilidad de no ser excedida (aunque lo puede ser en pocas ocasiones).

Según Hunter, se tiene en funcionamiento satisfactorio cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar la carga de demanda para el número m del total de n aparatos del edificio, de tal forma que no más de m serán encontrados en uso simultáneo por más del 1% del tiempo.

Si se considera que en una instalación de n aparatos, un número m de éstos se encuentre en funcionamiento simultáneo por más del 1% del tiempo, se puede expresar así:

$$p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{m-1} + p_m = 0,99$$

P es la probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando. Los términos faltantes de la serie son:

$$P = \sum_{r=m+1}^{r=n} \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \leq 0,01$$

Que corresponde a la forma dada en las tablas de distribución binomial de probabilidades, excepto que la expresión $(1-p)$ reemplaza al término q de las tablas. El caudal de diseño se determina de acuerdo con:

$$Q_{\text{diseño}} = m \times q$$

Donde q es el caudal promedio que utiliza uno de los aparatos supuestos. Hunter se ideó la forma de aplicar el método a sistemas con aparatos de diferente clase asignando el peso o influencia de un aparato con respecto a los demás; entonces, el número que identifica un aparato será una relación del número de válvulas de

fluxómetro que producen un caudal determinado al número de aparatos de otro tipo que producen el mismo caudal. (p. 08).

$$\text{Unidades para un aparato} = \frac{\text{Número de Fluxómetros}}{\text{No. de aparatos de otro tipo}} \times \text{Unidades asignadas al fluxómetro}$$

2.4.15. La tecnología en el tratamiento para adquirir los estándares de calidad

A lo largo de los últimos años, se ha ido analizando la gran cantidad de soluciones tecnológicas que se pueden utilizar para el tratamiento de aguas residuales, con las cuales se consigue mayor conocimiento de sus procesos, como funciona, sus ventajas y desventajas más importantes.

Para el caso de reutilizar las aguas grises en un edificio residencial sostenible, considerando el llenado de tanques de inodoros, riego de áreas verdes y limpieza de exteriores, va a resultar necesario encontrar una alternativa compacta, segura y eficaz por el bien del medio ambiente y de las personas.

El sistema que se usa comúnmente para el tratamiento de aguas grises tiene como principal objetivo desarrollar un tratamiento en 3 etapas: primario, secundario y terciario. A lo largo de este proceso se cuenta con una criba de desbaste y una cámara de desengrasado y sedimentación. Luego, se consideraran factores específicos como tecnologías en filtros percoladores de flujo ascendente y aireación de lodos activados con lecho fluidizado. También se piensa en la eficiencia de remoción, el precio de la construcción, así como del mantenimiento. Finalmente, se consideran factores más generales como lo simple que tienen que llegar a ser la operación y su estabilidad.

2.4.16. Procesos Físicos

Jefferson, Palmer, Jeffrey, Stuetz, & Judd (2004) señalan que: “Los procesos físicos directos se emplean generalmente en menor proporción, se ha

llegado a demostrar su gran eficiencia a la hora de eliminar sólidos, pero no tiene el mismo resultado en la eliminación de sustancias orgánicas.” (p. 112).

Según Li *et al.* (2009): “Una filtración simple no basta para eliminar la cantidad de microorganismos contaminantes al nivel que apruebe los estándares de reutilización. Es por eso que, la filtración por cribas de desbaste suministra una retención y separación de los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión.” (p113).

2.4.17. Procesos Químicos

Los procesos químicos, de acuerdo con Aqua España (2011), comparados con los procesos físicos, si tiene mayor eficacia al reducir la presencia de sustancias orgánicas y el color turbio del agua gris, pero tampoco llega a ser idóneo para que cumpla con todas las normas de reutilización no potable.

La coagulación y el intercambio iónico, nos dice Li *et al.* (2009) que: “Son algunas soluciones químicas que aplicadas en el tratamiento de aguas grises seguidas de una etapa de filtración por membrana, pueden llegar a cumplir con la norma de reutilización de agua urbana no potable sin restricciones.” (p. 33).

Además de la etapa de filtración por membrana, Li *et al.* (2009) señala que:

El efluente se puede considerar con una etapa de filtración de arena para poder cumplir con las normas de reutilización urbana de agua potable que se exige. Luego de esta etapa de filtración, se continúa con la desinfección del efluente que resulta, las aguas grises que se recuperan pueden considerarse como apta la reutilización urbana no potable sin restricciones. (p. 33).

2.4.18. Procesos Biológicos

Eriksson *et al.* (2002) menciona que:

Los procesos biológicos suelen ser menos agresivos con el medio ambiente a comparación del físico-químico. Este tipo de tratamiento, consolida de una forma más controlada la materia orgánica que de no ser así, causaría problemas, como: la reproducción de insectos, contaminación de agua y suelo; y atoramiento en las redes de distribución por la acumulación de sólidos y el crecimiento de microorganismos. (p. 145).

Según Li *et al.* (2009): “Estos procesos por lo general surgen de la sedimentación, que es una etapa de pre-tratamiento físico o el uso de tanque sépticos. Así mismo, se continúa con una etapa de filtración y/o una etapa de desinfección.” (p. 34).

Los procesos biológicos aeróbicos, indica Li *et al.* (2009):

Bastan para alcanzar una gran eliminación de carga orgánica y turbidez. Resulta ser el sistema más competente para la acumulación de agua durante periodos más extensos, ya que después de haber realizado el tratamiento aeróbico, se elimina la mayor cantidad de sustancias orgánicas biodegradables. Y luego, se impide la reaparición de microorganismos y problemas de olores. De modo que, este tipo de procesos se sugieren mayormente para los casos en que las aguas grises contengan media y alta carga orgánica. (p. 35).

Según Li *et al.* (2009):

Algunos procesos como el Reactor Anaeróbico biológico – Filtro percolador) o SBR (Reactor secuencial), aseguran aminorar la DBO a menos de 10 mg/l, lo cual obedece a las normas de reutilización no restringida. Se puede tratar con una etapa final de filtración de membrana o de arena, luego de la desinfección para cumplir con los

requisitos mínimos de eliminación de microorganismos, sólidos en suspensión y turbidez. Al combinar los procesos biológicos, aeróbicos con filtración física y/o desinfección se consigue una solución menos costosa y más factible para el reciclaje de aguas grises. El sistema MBBR (Bio reactores de lecho móvil) también puede ser utilizado para el tratamiento de aguas grises de resistencia media y alta. (p. 35).

2.4.19. Building Information Modeling (BIM)

Según Eastman (2011): “BIM es un método de trabajo donde intervienen en el proceso, herramientas y personas que ayudan a hacer más fácil recopilar la información relacionada con el edificio, desde su etapa de planificación hasta la operación según se muestra en la Tabla N° 2.” (p. 17).

Tabla N° 2: Usos a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Planificación	Diseño	Construcción	Operación
Modelos de Condiciones Existentes			
Estimación de Costos			
Planificación de Fases de Construcción			
Programación			
Análisis del sitio			
	Chequeo del Diseño		
	Modelos de Diseño		
	Análisis Estructural		
	Análisis Luminotécnico		
	Análisis Energético		
	Análisis Termo mecánico		
	Otros Análisis		
	Evaluación LEED		
	Validación de Códigos		
	Coordinación 3D		
		Control y Planificación 3D	
		Análisis del proceso constructivo	
		Fabricación Digital	
		Planificación Uso del Sitio	
			Registro de Modelos (Modelos conforme a Obra)
			Programación Mantenimiento
			Análisis de los sistemas
			Gestión de Inventario
			Planificación contra siniestros

Fuente: Penn State University, University Park, PA, USA, (2010)

BIM permite crear simulaciones digitales, según indica en la Figura N° 16, donde comprende todas las especialidades dentro de un solo modelo, así permite que todos los participantes del equipo involucrado en el diseño, puede colaborar eficientemente, a comparación del proceso tradicional.

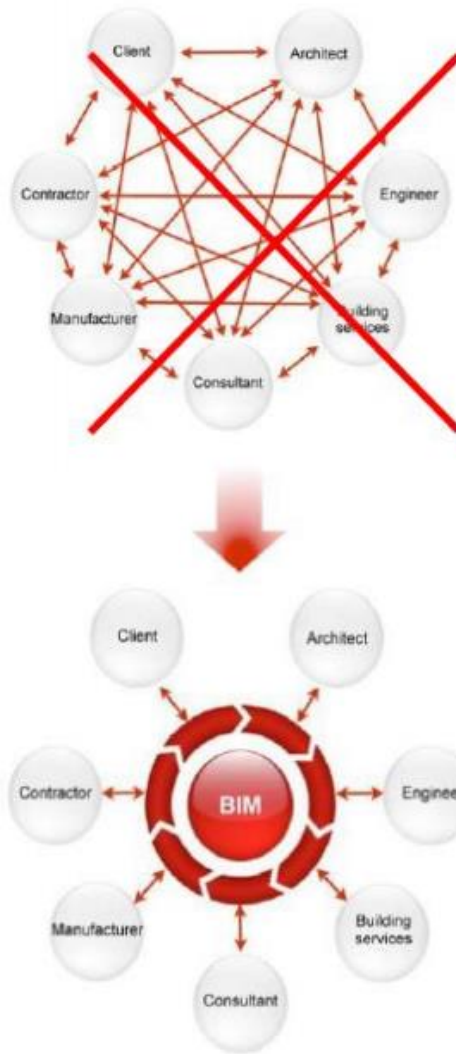


Figura N° 16: Intercambio de información sin BIM y con BIM

Fuente: Allen Consulting Group, (2010)

2.4.19.1. Etapa de diseño

Moreno, G. (2015) señala que:

BIM provee un conjunto de instrumentos y herramientas que ayudan a darle un valor mayor al desarrollo. Además, BIM es capaz de aminorar los desperdicios que puedan generarse en la etapa de diseño, ya que pasa por constantes revisiones, y se hace mucho más fácil detectar errores. Este proceso de diseño colaborativo puede disminuir el tiempo estimado para un proyecto. (p. 55).

2.4.19.2. Diseño colaborativo

Como indica Sierra, L. (2016) Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM “*Building Information Modeling*”. Universidad Santo Tomás, Colombia.

El uso de BIM promueve al diseño colaborativo ya que permite a cada especialidad apoyarse entre sí, los esfuerzos del arquitecto e ingeniero al proponer ideas para el diseño, los encargados de la construcción al proporcionar alcances sobre secuencia y modo de construcción. Ocurre la coordinación 3D entre subcontratistas y proveedores. Finalmente, el propietario puede observar el diseño si es lo que espera o si quiere alguna modificación, y así todos los miembros van participando en el desarrollo de la edificación. (p. 02).

2.4.20. Revit

Para realizar el modelado de la información de construcción, es necesario hacer uso de un programa completo e inteligente que permita que los proyectos sean eficientes y de alta calidad. Entre los Software que hacen uso de la metodología BIM, destaca el Autodesk Revit sirve como herramienta para cumplir estos requisitos y trae con su uso grandes beneficios en las múltiples áreas concernientes a un proyecto de ingeniería.

Revit es un programa de diseño, no de cálculo. Con él puedes obtener de un modo ágil y en un entorno coordinado la documentación de tu proyecto: planimetría, detalles constructivos, medición -a través de un software complementario-, diseño de la estructura, trazado de las distintas instalaciones, e incluso imágenes finales o *renders* de gran calidad.

Revit ofrece las siguientes herramientas para colocar componentes de tubería para los sistemas de tubería de suministro y retorno de un proyecto:

- Tubería
- Tubería flexible
- Accesorio de tubería
- Equipos mecánicos
- Aplicar un relleno de color de tubería
- Comprobar sistemas de tuberías
- Diseñar los sistemas de tubería

2.4.21. Revit MEP Fontanería

El uso de la metodología BIM permite optimizar todos los recursos, tanto humanos, como materiales, de inversión de tiempo y de costes. Dada las ventajas aportadas por la metodología BIM, la misma se está extendiendo también a las instalaciones eléctricas y de plomería, y aquí es donde entra en juego el uso del software Revit MEP.

En la actualidad, Revit es el software BIM más popular, utilizado y extendido en el sector y en una gran cantidad de países. Y en línea a esta expansión del BIM, surge una variante, Revit MEP, un conjunto de herramientas pensadas para la creación y análisis de instalaciones de aire acondicionado, fontanería y electricidad de un edificio siguiendo los principios del *Bulding Information Modeling*.

Entre sus principales ventajas, la propia ficha del Revit MEP señala que “el análisis concurrente y la interoperación con el resto de herramientas BIM ofrece un control completo sobre sistema, permitiendo tomar mejores decisiones para evitar costes innecesarios y crear la mejor instalación posible”.

Revit Mechanical, Electrical & Plumbing, más conocido simplemente como Revit MEP, es un programa de ordenador que forma parte de la familia de

herramientas del entorno de trabajo BIM (*Building Information Modeling*) desarrolladas por la compañía Autodesk. A su vez, Revit MEP proporciona a los ingenieros de mecánica, electricidad y saneamiento (de ahí sus siglas) las herramientas imprescindibles para que puedan diseñar y analizar complejas instalaciones de electricidad, aire acondicionado y fontanería en proyectos de edificaciones desarrollados en un entorno BIM.

La propia compañía Autodesk, responsable de Revit MEP, señala en su página web que este programa facilita la concurrencia y la interoperabilidad con el resto de utilidades del entorno BIM, a la vez que favorece un control global y completo del sistema, facilitando una toma de decisiones acertada y contribuyendo así a la reducción de costes, al tiempo que se maximizan la calidad y eficiencia de las instalaciones.

Algunas de las principales utilidades y funciones que presenta el software Revit MEP son las siguientes:

- Posibilidad de compartir el proyecto en tiempo real y de manera centralizada con las múltiples disciplinas involucradas en el diseño.
- Crear y exportar tablas con la información de los elementos utilizados en el proyecto con sus propiedades.
- Exportación e interoperabilidad con otros entornos no necesariamente BIM.
- Biblioteca amplia con sistemas de aguas residuales fundamentada en las normas de la *American Water Works Association (AWWA)*.
- Permite agilizar el proceso de diseño de las instalaciones ya que intervienen todas las disciplinas del proyecto, al trabajar sobre el mismo modelo los arquitectos, ingenieros, estructuristas, etc. De esta manera se pueden determinar las interferencias de los diferentes sistemas de manera inmediata. El proceso de diseño se acelera de manera significativa al realizar un modelado en 3D de las instalaciones, lo que permite visualizar y entender el proyecto eficazmente, permitiendo tomar decisiones

rápidamente, optimizar los trazados de las instalaciones y reducir el tiempo de revisión. Adicionalmente permite convertir los elementos del modelo en elementos con detalles a nivel de construcción.

- Cálculo de listado de los materiales, entre las funciones del software está el determinar el metrado de los materiales necesarios de manera exacta, ahorrando tiempo de trabajo y permitiendo que los ingenieros se enfoquen en el diseño de soluciones óptimas, evitando tareas repetitivas.
- Reduce de las modificaciones imprevistas en la fase de construcción, este tipo de modificaciones en los proyectos son las que acarrear mayores sobrecostos y retrasos en el cronograma y finalización de la construcción. Al utilizar un modelo virtual para diseñar las instalaciones es posible editar el proyecto, siendo más rápido y más económico que realizar las modificaciones físicamente en la construcción.
- Al revisar y coordinar los modelos de las tres disciplinas: Arquitectura, estructura e instalaciones, se puede revisar y combinar en software especializados como Navisworks y se pueden detectar las interferencias y resolver dichos conflictos. Todo esto permite que realizar los proyectos con metodología BIM sea más rápido, con menor esfuerzo y con menos interferencias entre las partes intervinientes.
- Permite diseñar y documentar los sistemas de saneamiento, así como, los sistemas eléctricos y de climatización.

2.4.22. Tuberías para instalaciones sanitarias

2.4.22.1. Historia de las tuberías

El uso de acueductos para conducir, se remonta en la historia a la cultura de la Antigua Roma y la cultura Inca, que construían tuberías de piedra para conducir el agua hasta los palacios y sus conocidos baños, también tenían sus sistemas cloacales para desalojar las aguas usadas. En la modernidad, la fontanería tuvo sus inicios a finales del siglo XIX donde se implementó el uso de tuberías de hierro fundido soldadas con plomo en

las uniones, para conducir el agua potable. Sistema que fue utilizado hasta finales de los setentas para el uso en agua potable, hoy en día aún se utiliza en otro tipo de instalaciones no relacionadas con el consumo humano. En la actualidad este tipo de soldadura de plomo ha sido sustituida por diferentes sistemas, como el uso de soldadura de acero para tuberías de acero, soldadura de estaño para tuberías de cobre para gas, termo fusión para tubos de polipropileno o polietileno y solventes adhesivos para tubos de PVC.

2.4.22.2. Definición de PVC

Es uno de los termoplásticos más conocido, moderno e importante. Este polímero se obtiene a partir de dos materias primas naturales: el cloruro de sodio o sal común (ClNa) (57%) y el petróleo o gas natural (43%), siendo por lo tanto menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos.

Rayburn, C. (2017). Historia de la tubería de PVC define: PVC o cloruro de polivinilo es el material de fontanería más popular del siglo XX, por ser un material de fácil instalación, de bajo costo y alta durabilidad. Este material ha revolucionado los sistemas de suministro de agua potable y disposición de aguas residuales por considerarse un sistema seguro y confiable.

2.4.22.3. Orígenes

En siglo XIX el químico francés Herni Victor Regnault desarrollo el cloruro de polivinilo, debido a su forma rígida, no tenía mucha aplicabilidad, sino hasta 1920, cuando la empresa BF Goodrich, combinó el PVC con otros plásticos, para que el mismo tuviera mayor flexibilidad para ser utilizado en la fabricación de tuberías.

A diferencia de las tuberías de metal que se utilizaban para agua potable y alcantarillado, las tuberías de PVC eran superiores debido a que no se corroían ni se oxidaban. El primer país que aprovechó los beneficios de este material fue Alemania, en el año 1936 instalaron tuberías de PVC en un sistema de agua potable. Alemania fue el primer país en aprovechar esto y en 1936 se instalaron tubos de PVC para agua potable y debido a la alta durabilidad del PVC, muchas de estas tuberías originales siguen funcionando en la actualidad.

Posteriormente en 1950, Estados Unidos implementó el uso de las tuberías de PVC y durante las próximas décadas, este tipo de tuberías se convirtieron en la opción más común para los edificios residenciales en todo el país, debido a las mejoras en la composición y la fabricación de las mismas.

2.4.22.4. Fabricación

La implementación de las tuberías de PVC a lo largo de la historia se vio influenciada en gran parte por la forma en cómo se fabricaban. Inicialmente el método original aplicado en la fabricación de tuberías de PVC era fundiendo una forma de PVC en polvo y luego enrollarlo. Además de ser un método engorroso, implicaba grandes costos, lo que dio origen al método extrusor con ariete, en donde se funde el PVC y se le da forma uniforme haciendo uso de un molde, a través del cual se pasa el material fundido. Finalmente se desarrollaron e incorporaron nuevos tipos de plásticos que permitieron aumentar la flexibilidad del PVC.

2.4.22.5. Seguridad

Las primeras tuberías de PVC fueron conocidas debido a que estallaban durante la instalación o durante una presión extrema, estos incidentes hicieron que fuera cuestionada la seguridad de estas tuberías,

la solución para este problema se dio con la adición de plástico flexible. En la actualidad, existen polémicas acerca de la calidad del agua potable al conducirlos a través de este tipo de tuberías, sin embargo, la causa de esto es debido a las juntas que se forman en la unión de los tubos, donde se alojan y acumulan las bacterias.

2.4.22.6. Características técnicas de las tuberías de PVC

Características Físicas

- Peso Específico: $\approx 1,44 \text{ g/cm}^3$ a 25°C
- Absorción de agua: $< 40 \text{ g/m}^2$
- Estabilidad dimensional a 150°C : $< 5 \%$
- Coeficiente de Dilatación térmica: $0,06 - 0,08 \text{ mm / m / }^\circ \text{C}$
- Constante dieléctrica a 103 - 106
- HZ: 3 - 3,8
- Inflamabilidad: Auto extingible
- Coeficiente de fricción: $n = 0,009$ Manning y $C = 150$ Hazen -Williams.
- Punto Vicat: $\geq 80^\circ \text{C}$

Características Mecánicas

- Tensión de Diseño: 100 kgf/cm^2
- Resistencia a la tracción: $480-560 \text{ kgf/cm}^2$
- Resistencia a la compresión: $610-650 \text{ kgf/cm}^2$
- Módulo de elasticidad: $\approx 30\,000 \text{ kgf/cm}^2$

Vida útil de las tuberías de PVC

Se considera en el diseño una vida útil de 50 años. Este período se fundamenta en el comportamiento real de las tuberías, se realizaron pruebas en conducciones en servicio proyectadas hace más de 30 años y

finalmente se extrapolan los valores a 50 años haciendo uso de factores de seguridad de 2.5.

Determinación del espesor de pared en tuberías de PVC

En función de la presión nominal o clase de tubería, del diámetro exterior y del esfuerzo del diseño, considerando como premisas que la vida útil proyectada es de 50 años y a una temperatura constante de 20°C, se obtienen los valores para determinar el espesor de pared, utilizando una fórmula basada en la formula ISO (*International Organization for Standarization*), presentada a continuación:

$$e = D \frac{P}{2 \alpha + P}$$

Donde:

e = Espesor de la pared (mm)

D= Diámetro exterior (mm)

P = Presión nominal (Kgf/cm²)

α = Esfuerzo de diseño = 100 kg/cm² (10 MPa)

El esfuerzo de diseño se obtiene en función del material de fabricación de la tubería, para tubos de PVC-U es de 10 MPa, al considerar que la resistencia mínima requerida es de 25 MPa y un factor de seguridad (F) de 2,5.

Las presiones nominales de las tuberías de PVC-U según la norma Técnica Peruana NTP-ISO 4422-2, son las siguientes, como se indica en la Tabla N° 3:

Tabla N° 3: Presiones nominales de las tuberías de PVC-U.

CLASE	SERIE	SDR	Presión Nominal (bar)
5	20,0	41,0	5,0
7,5	13,3	27,6	7,5
10	10,0	21,0	10,0
15	6,6	14,2	15,0

Fuente: Nicoll Perú S.A. Copyright (2006).

Nota: Recuperado de “Catálogo de tubos y accesorios PVC-U Presión NTP-ISO 4422”, p.06.

Para determinar el espesor nominal de pared las tuberías se sustituya la presión nominal o de trabajo en la fórmula indicada, el diámetro exterior y el esfuerzo de diseño igual a 100 kg/cm².

2.4.22.7. Tuberías de PVC de desagüe

La puesta en funcionamiento de las tuberías PVC como tuberías de desagüe, resultan de gran utilidad debido a su propiedad hermética como nuevo sistema de espiga-campana, que a su vez viene empleando anillos de plástico, como su simplicidad para conservar limpias las tuberías. Cabe destacar que, en el caso de las tuberías sanitarias, estas poseen una unión en bajada y un conector principal. De igual forma su funcionamiento puede darse de la unión de una rama horizontal con un ducto de ventilación.

2.4.22.8. Accesorios para tuberías de PVC de desagüe

En relación con las tuberías PVC “y” doble y la “t” sanitaria, existen diversas formas de conexiones. Por ejemplo, cuando se lleva a cabo una instalación de forma contigua entre los servicios sanitarios, estos deben permanecer siempre unidos. Para lograr lo mencionado, se tiene que conectar al ramal horizontal, el cual se aprovecha con la conexión de una “y” doble, creando así una curva lo más blanda posible, a lo que debe conectarse con un codo de 45° alrededor. Para la conexión al inodoro, se le ha de añadir otro codo, para este hecho uno de 90°. Haciendo un apartado especial, se debe recordar que la rama de la tubería sanitaria es aquella que ejerce el rol de ser un medio de ventilación.

Por otro lado, para las instalaciones de limpieza en tuberías PVC, estas se han de situar de modo que el orificio de limpieza se encuentre en dirección contraria a la del flujo del desagüe, ver Tabla N° 4. Para las tuberías que se encuentran ocultas o en todo caso subterráneas, su

conexión de limpieza se ha de ofrecer por una cabida que garantice la llegada al nivel del suelo, o de lo contrario se pueda alcanzar a los muros o paredes.

Tabla N° 4: Características Técnicas de la tubería para desagüe marca PAVCO.

Diámetro Exterior		Longitud		Clase Ligera		Clase Pesada	
Nominal (pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)	Peso (kg x tubo)	Espesor (mm)	Peso (kg x tubo)
1 1/2	41.0	3.00	2.97	1.3	0.768	-	-
2	54.0	3.00	2.96	m 1.3	1.019	1.7	1.324
3	80.0	3.00	2.94	m 1.4	1.635	m 2.0	2.322
4	105.0	3.00	2.92	m 1.7	2.611	m 2.6	3.960
6	168.0	5.00	4.87	m 2.8	11.453	m 4.1	16.639
8	219.0	5.00	4.83	3.5	18.676	5.3	28.045
10	273.0	5.00	4.79	4.4	29.263	6.7	44.178
12	323.0	5.00	4.75	4.8	35.086	-	-

Fuente: Mexichem Perú S.A. Copyright (2016).

Nota: Recuperado de “Tuberías y conexiones de PVC”, p.01.

2.4.22.9. Tuberías de CPVC

En la misma familia de termoplásticos que el PVC, se encuentra policloruro de vinilo clorado (CPVC). El CPVC, se diferencia del PVC en cuanto a los tipos de productos en disposición, aun siendo similar en nombres, el CPVC ofrece una resistencia mayor al calor y a la presión, lo que le da la facultada de ser empleado en aplicaciones industriales de mayor exigencia. La diversidad entre el CPVC y PVC se debe a la composición molecular en cada material, lo que permite observar diferencias entre la resistencia de calor y presión respectivamente.

2.4.22.10. Propiedades de Desempeño del CPVC

Resistencia Química

En comparación con los metales, que son delicados a la corrosión, la obtención de sarro y picaduras, el CPVC es indiferente hacia gran parte de los ácidos, bases y sales, de igual forma con los hidrocarburos alifáticos. Esta propiedad de resistencia del CPVC produce que tenga una vida útil más duradera, que pueda llevarla a resistir décadas de años,

convirtiéndose la resistencia química de CPVC en una de sus principales ventajas.

Por su parte, se ha de saber que el amoniaco es un compuesto químico altamente reactivo con el cloro, de tal forma el CPVC al contener mayor contenido de cloro que el PVC, este último resulta tener una mejor función contra el amoniaco.

Resistencia a la Temperatura

La variación de la temperatura de transición vítrea (T_g) dependerá del contenido de cloro en el CPVC, ya que si el contenido se ve aumentado o crece también se ve afectada el aumento de la temperatura. La T_g es el punto donde el polímero experimenta una transformación en su integridad estructural, convirtiéndose en un elemento blando y gomoso, después de haber sido un cuerpo duro y vítreo.

La resistencia superior a la temperatura del CPVC se indica en las normas ASTM para cada componente, recordando que la máxima temperatura de servicio para el PVC ha de ser hasta 140°F (6°C) y para el CPVC es de hasta 200°F (93.3°C). Es imprescindible consultar antes con el fabricante para corroborar las facultades operativas del producto.

Cabe mencionar que el CPVC no solo se puede utilizar por encima de la temperatura máxima de servicio del PVC, sino que en su mayor fortaleza hacia la temperatura esta le ofrece funcionar preferible a temperatura dentro del rango de trabajo del PVC. Se puede destacar el CPVC por encima del PVC, en términos de resistencia a la tracción y resistencia al impacto, ya que aun estando por debajo de 140°F (60°C), este funciona mejor.

Resistencia a la Presión

En este caso las tuberías de CPVC y PVC cuentan con la misma clasificación de presión 73°F (22.8°C, pero cuando la temperatura crece, el CPVC conserva su clasificación de presión superior al PVC.

Desempeño en el Fuego

Habitualmente los termoplásticos, tales como el polipropileno y el polietileno, han causado una reputación desfavorable a los termoplásticos en general, debido a la poca resistencia al fuego. No obstante, esta poca resistencia a la quema y fusión no se aplica en todos los casos para las termoplásticas, ya que el CPVC industrial, ha sido diseñado para convertirse en un aliado a la inflamabilidad y producción de humos.

Especialmente se encuentran pruebas de ASTM que miden algunos puntos que se mencionaran a continuación:

- **Temperatura de ignición flash**

Es conocida por ser la temperatura más baja que permite encender el suficiente gas combustible por medio de una llama externa pequeña, para que esto pueda suceder el CPVC debe encontrarse a una temperatura de 900°F (482°C).

- **Índice Límite del Oxígeno (LOI)**

Llamado así al porcentaje de oxígeno fundamental en una atmosfera contigua para sostener una llama. El LOI de un PCV es 45 mientras que el del CPVC es 60, como indicación la atmosfera que se encuentra en la tierra es de 21% oxígeno.

2.4.22.11. Usos del CPVC

Tanto el CPVC como el PVC se utilizar en varias de las mismas aplicaciones, debido a que CPVC se apoya es muchas virtudes del PVC,

sin embargo, el CPVC resulta muy costoso, por lo que el PVC se convierte en una alternativa más económica, en cambio cuando se ha de necesitar una aplicación con resistencia química, el CPVC resulta más factible, gracias a sus propiedades exigentes de temperatura y presión.

Aplicaciones industriales

El CPVC ofrece un resultado libre de problemas para los ambientes industriales más complicados, y que a menudo se convierte en una característica propia de industrias exigentes, a continuación en la Tabla N° 5, se detallan sus aplicaciones industriales:

Tabla N° 5: Aplicaciones de CPVC en entornos industriales.

Aplicación	Función
Procesamiento químico	Conducir los químicos agresivos a temperaturas altas, bajo presión, sin contar con problemas de corrosión
Cloro alcalino	Conducir los químicos por medio de entornos más corrosivos sin contar con problemas de corrosión.
Procesamiento de minerales	Soportar las demandas operativas de procesamientos de materias primas y preciosas.
Generación de energía	Sostener a largo plazo los químicos corrosivos y las altas presiones empleados por las plantas de energía.
Semiconductor	Garantizar con los modelos de alta pureza para cuartos limpios y eliminar los problemas de corrosión originados por los químicos agresivos.
Tratamiento de aguas residuales	Colocar fin a la corrosión, inclusive cuando traslade los químicos de desinfección más agresivos.

Fuente: Propia, (2019).

Plomería Residencial y Comercial

En el caso de plomería las aplicaciones necesitan una mayor seguridad de temperatura y presión, el CPVC (en la Tabla N° 7) garantiza un sistema

fiable, eficiente y flexible resistente a la propagación de sarro, picaduras y la aglomeración de bacterias, libremente del pH del agua o los niveles de cloro, a continuación en la Tabla N° 6, se detallan las algunas de sus aplicaciones:

Tabla N° 6: Aplicaciones del CPVC en plomería de residencia y comercio.

Aplicación	Función
Hospedaje	Uso en restaurantes como en edificios de oficinas de pequeña altura.
Comercio de venta al por menor	Uso en edificios de oficinas de mediana altura y centros comerciales.
Educación	Uso en colegios como en universidades.
Salud	Uso en Hospitales, clínicas médicas como en complejos médicos.
Residenciales Multifamiliares	Uso en edificios de hasta 6 niveles, como también en departamentos, residenciales y hoteles.
Edificaciones Gran densificación	Uso en edificaciones residenciales de gran escala, edificios que comprendan más de 6 pisos.

Fuente: Propia.

Tabla N° 7: Características Técnicas de la tubería para agua caliente de CPVC marca PAVCO.

Diámetro Nominal (Pulg.)	Peso x tubo (kg)	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Longitud mtrs.
		Pulg.	(mm)	Pulg.	mm.	
½"	0.619	0.625	15.87	0.068	1.73	5.0
¾"	1.037	0.875	22.22	0.080	2.03	5.0
1"	1.705	1.125	28.60	0.102	2.59	5.01

Fuente: Recuperado de “Sistema completo de tuberías y conexiones de CPVC para agua caliente”, p.01, by Mexichem Perú S.A. Copyright (2016).

Nota: Los diámetros nominales se refieren a los de la tubería de “cobre”, siendo las roscas NPT.

2.4.23. Especificaciones de artefactos Sanitarios y Grifería

Cuando se van a emplear los artefactos de sanitarios y grifería en una instalación sanitaria, estos deben cumplir con unas condiciones básicas normadas, entre ellos se pueden nombrar los siguientes, superficie, dureza, resistencia al calor, resistencia mecánica e impermeabilidad, no obstante, una cualidad fundamental en su selección tiene relación con el consumo de agua al momento de funcionar, de tal manera que el artefacto sanitario y la grifería son de suma importancia.

En lo que se refiere a residencias, el consumo promedio de un artefacto, como un inodoro podría llegar a ser 13.5 litros por descarga y grifería tradicional, asimismo con las investigaciones y el desarrollo tecnológico de hoy, se ha logrado ofrecer inodoros que consuman 6 litros por descarga, de igual manera existen griferías con resultados de ahorro significativo en los caudales, conservando las mismas cualidades de funcionamiento.

Ante la obligación de ahorrar agua, desde una adecuada conservación y eficiente uso de esta, como también desde el ámbito económico, ha impulsado que la norma, pase a convertirse en ser más

exigente, con el propósito de cubrir esta necesidad.

Asimismo, del desarrollo de las investigaciones de este aspecto no se han quedado atrás, conociéndose que el inodoro es uno de los artefactos con mayor índice consumo de agua, las investigaciones para lograr el ahorro de agua han recaído aquí, teniendo una reducción del 50% de consumo en agua, es una baja importante, considerando que el consumo promedio de una familia se acerca el 20% total.

2.4.23.1. Inodoros

Los inodoros han de cumplir una secuencia de determinaciones técnicas que garanticen el rol para el cual fueron diseñados (ver Figura N° 17), por ello se aplicaran en primera instancia las determinaciones de rendimiento y luego aquellas vinculados con la estandarización dimensional. Entre las determinaciones técnicas mínimas que tienen que cumplir todos los inodoros son los que se detallaran a en los siguientes puntos:

- Desocupar líquidos con un límite de higiene, asimismo con un consumo de hasta 7 litros por descarga.
- Contar con una superficie de agua que brinde la seguridad de que los desechos bajen adentro del agua.
- Poseer un nivel de agua que garantice que los desechos puedan conservar en suspensión.
- Contener una trampa o sifón que posibilite abarcar un sello de agua que intervenga como obturador hidráulico
- No absorbente en toda su masa
- Poseer la cualidad de ser inmunes e impermeables en sus superficies esmaltadas
- Ser fuerte al encuentro térmico
- Ser seguros y resistentes.

Cabe mencionar que cada una de estas condiciones, deben ser certificadas por el proveedor respectivo del artefacto, de igual forma es esencial requerir al proveedor la especificación del accesorio respectivo, junto con sus recomendaciones de instalación.

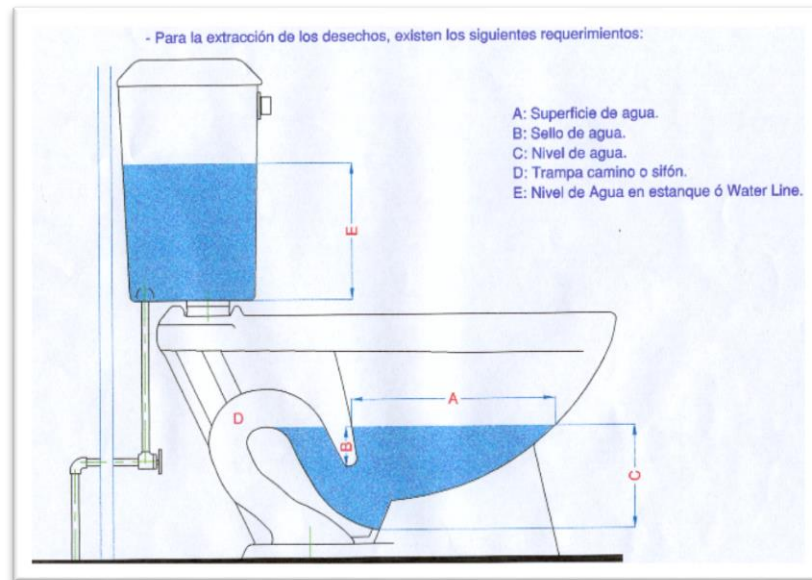


Figura N° 17: Requerimientos de un Inodoro. Corporación de Desarrollo Tecnológico - C.Ch.C.

Fuente: Grupo Técnico de Instalaciones Sanitarias, Chile, 2010).

2.4.23.2. Duchas

Las duchas deberán cumplir con condiciones que den pase al uso de agua fría y caliente durante su función. En este caso, las condiciones van más a las determinaciones de altura y tipo de grifería que la misma ducha en sí.

Actualmente las duchas complacen las expectativas mínimas, en relación con ofrecer un baño de lluvia, no obstante, es indispensable conocer y escoger el material a usar, dependiendo del agua con el propósito de postergar la vida útil de estos artefactos.

2.4.23.3. Lavamanos, tinas, lavaderos, lavaplatos y bidet

De igual modo, que los artefactos ya mencionados en el anterior apartado, los lavamanos, tinas, lavaderos, lavaplatos y bidet han de realizar una serie de determinaciones técnicas que brinden con seguridad el propósito para el cual fueron diseñados, estas determinaciones técnicas deben contener lo siguiente:

- Tener una trampa o sifón que posibilite abarcar un sello de agua que intervenga como obturador hidráulico. Se recomienda que dicho sello cuente con 5 cm como mínimo.
- No absorbente en toda su masa
- Poseer la cualidad de ser inmunes e impermeables en sus superficies.
- Ser fuerte al encuentro térmico
- Ser seguros y resistentes

De igual manera, como el apartado anterior, es fundamental que cada una de estas condiciones, sea certificada por el proveedor respectivo del artefacto, por otra parte, se debe estimar que las bocas de salida de las llaves de agua tengan 20 mm como mínimo por sobre el nivel máximo de la cavidad.

2.4.23.4. Grifería

La grifería debe cubrir ciertas exigencias de presión, calidad al corte, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión. Se ha de saber que cuando la instalación decida llevar el uso de grifos mezcladores de agua tanto como caliente y fría, el modelo a utilizar no puede consentir el paso de agua caliente por la vía de agua fría y al contrario.

Es importante conocer que toda grifería a utilizar en una instalación sanitaria debe estar facultada con una certificación o autorización, dada por la SISS.

2.4.23.5. Calentadores de agua

Las condiciones para los calentadores de agua se fijan normalmente en dos reglamentaciones, por un lado debe cumplir con lo establecido en la legislación vigente para Instalaciones Interiores de Gas o Eléctricas, mientras que por otro, con respecto a la seguridad y ubicación, está ligada por otra normativa, de igual relación a su condición de calentador de agua.

Con respecto a la reglamentación de instalaciones de gas o eléctrica, es fundamental considerar que esta limita su instalación a espacios definidos con ciertos términos de volumen, ventilación, cercanía a la línea de alimentación eléctrica y otras exigencias de seguridad, mientras que vista desde el punto de agua potable se necesita otras características, nombradas a continuación:

- Ser fuerte al encuentro térmico.
- Ser seguros y resistentes mecánicamente.

Cabe mencionar que ese caso el proyectista escoge el tipo de calentador de agua a usar y sus cualidades técnicas, de acuerdo con las características del proyecto, se sugiere calcular la red de agua caliente estimando que la llave más desfavorable se asegure una presión de 4 m.c.a.

2.4.24. Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú

Actualmente en el Perú no se cuenta con una normativa en base a la calidad de agua para que puedan ser reutilizadas en las viviendas. Pero si analizáramos los estándares ECA, que quiere decir Estándares de Calidad Ambiental, desde el inicio de su aprobación en el año 2008, D.S N°002-2008-MINAM, las disposiciones de implementación de los ECA DS. N°023-2009, fue modificada en el año 2015 por el MINAM RD.S N°15-2015-MINAM y hace 2 años se publicó la nueva R.M N°72-2017-MINAM, que dispone resolver la pre-publicación del

proyecto de Decreto Supremo que modifica los estándares de calidad ambiental para el agua, así como también otras disposiciones.

Hasta la fecha, ha habido escasa información acerca de este tema, y concluyendo que no existe tal normativa definida para este fin, lo que queda es fijarnos en la última modificación que hubo en los ECA según D.S N°004-2017-MINAM, teniendo esta asistencia técnica por parte de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos(EPA), Cooperación Alemana al Desarrollo, de la Organización Mundial de la Salud (OMS), también existió la colaboración de la revisión de los ECA para agua vigentes, así como la opinión y propuestas de entidades públicas y privados, con la finalidad de mejorar a largo plazo.

Si analizamos el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM que modifica el Artículo 2.- Precisiones de las categorías de los estándares Nacionales de calidad ambiental (ECA) para el agua.

Para la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, dentro de esta categoría se subdivide en 2. Subcategoría D1: vegetales de tallo alto y bajo y Subcategoría D2: bebida para animales. De esto se concluye que solo en el Perú se llega a establecer una clasificación de aguas para vegetales en función a los tallos, sea alto o bajo, y no encontrándose una buena justificación técnica razonable para ello.

El nuevo Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM divide la Subcategoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto, en riego restringido y no restringido, y de esta forma se tomó como guía los parámetros de Riego Restringido para el diseño del tratamiento de aguas grises, mostrado en el (ANEXO 1).

Para más información del marco legal, obtuvimos la Tabla N° 8, la cual nos señala todas las leyes, reglamentos, decretos supremos, resoluciones y normas existentes en el Perú de manera actualizada.

Tabla N° 8: Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú actualizado.

Ley de Recursos Hídricos - Ley 29338 (Publicada el 31 de marzo de 2009)
Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N° 001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)
D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para el Agua
D.S. N°023-2009-MINAM. Aprueba las disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua.
D.S. 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes PTAR (Publicado el 17 de marzo de 2010).
Resolución Jefatural N°274-2010-ANA-medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimiento y reúso de agua residual (PAVER).
Resolución Jefatural N°202-2010-ANA-Aprueban clasificación de cuerpos de aguas.
D.S N° 033-2007-PCM. Aprueban el Procedimiento para la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental
Resolución Jefatural N°489-2010-ANA-Modifican el Anexo 1 de la R.J. N°202-2010-ANA, en lo que corresponde a la clasificación de los cuerpos de agua marino costeros.
Decreto Supremo N°007-2010-AG Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados.
Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de agua residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado.
Decreto Supremo N°003-2011-VIVIENDA, Reglamento del D.S. N°021-2009-VIVIENDA.
Resolución Jefatural N°182-2011-ANA. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial.
Resolución de Consejo Directivo N°025-2011-SUNASS-CD. Aprueba metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en anexo 1 de D.S. N° 021-2009-VIVIENDA y modifican el reglamento general de tarifas, así como el reglamento de calidad de prestación de servicios de saneamiento.
Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Modifica el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, con la finalidad de establecer procedimientos para controlar descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
Reglamento Nacional de Edificaciones (Publicado el 8 de Junio de 2006)
Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
Decreto Supremo N°022-2009-VIVIENDA Modificación de la Norma OS. 090 (26.11.2009)
DC N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación
RM N° 072-2017-MINAM. Modificación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua, así como otras disposiciones contenidas en el DS N°002-2008-MINAM, DC N°023-2009-MINAM Y DC N°015-2015-MINAM.

Fuente: Paolo Loza, (2017).

2.4.25. Límites Máximos Permisibles (LMP)

(LMP) los Límites Máximos Permisibles se define como la concentración de los parámetros físicos, biológicos y químicos, que caracterizan un efluente, que al ser manipulado o tratado puede causar daño a la salud o simplemente el daño puede ser irreversible, tanto el bienestar humano como el ambiente no debe ser afectado, y de acuerdo a lo establecido en el D.S. N°003-2008-MINAM, debe ser cumplido legalmente por la respectiva autoridad competente.

La actualización del procedimiento para la aprobación de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipal ha sido aprobada mediante D.S. N°003-2008-MINAM, donde su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de Gestión Ambiental.

A continuación, se muestra una Tabla N° 9 de los LMP vigente para efluentes de las PTAR:

Tabla N° 9: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM, (2010).

2.4.26. Estándares de Calidad de Agua (ECA)

Los ECA, estándares de calidad del agua se definen por la concentración de parámetros físicos, biológicos y químicos en la composición y en su condición del agua como cuerpo receptor, ni tampoco representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. El ECA es sumamente obligatorio como el diseño, normas legales, políticas públicas y el diseño de la aplicación de todos los instrumentos sobre la gestión ambiental. La importancia del ECA y el diseño de las PTAR entre si forman parte para llegar al tipo de uso que se otorga al cuerpo de agua que recibirá sus efluentes ya establecido por el ministerio del ambiente, fijando los valores máximos permitidos por los contaminantes en el ambiente. El propósito final es que se garantice la conservación de la calidad ambiental a través del uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de llegar a una evaluación exitosa.

En la siguiente Tabla N° 10 se muestra la comparación en las ultimas normas modificadas, ECA en el año 2017y los D.S. N° 002-2008-MINAM, el D.S. N° 023-2009-MINAM y el DS. N°015-2015-MINAM.

Tabla N° 10: Comparación de las normas en los ECA.

Comparación de las normas en los ECA								
PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	DS-N°002-2008-MINAM		DS-N°015-2015-MINAM		DS-N°-2017-MINAM		
		Vegetales De Tallo Bajo	Vegetales De Tallo Alto	D1: Riego De Cultivo De Tallo Alto Y Bajo	D2: Bebida De Animales	D1: Riego Restringido	D2: Riego No Restringido	D3: Bebida Para Animales
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000	5 000	-	-	-
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	5 000	5 000	1 000	1 000	1 000	2 000	1 000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	100	20	20	-	-	-
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100	100	100	1000	**	**
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	**

Fuente: Paolo Loza, (2017).

2.5. Formulación de hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Proponiendo la utilización de un sistema de reciclaje de aguas grises permitirá reutilizarlas en el edificio Santa Beatriz Bloque II.

2.5.2. Hipótesis específicas

1. El consumo de las aguas recicladas en inodoros, limpieza y riego de jardines determina el ahorro de agua potable que permite el sistema de reciclaje de aguas grises.
2. La comparación de la cantidad de agua desechada antes y después de la instalación del sistema determina la reducción de aguas residuales eliminadas al sistema de alcantarillado público gracias al sistema de reciclaje de aguas grises.
3. La utilización del software Revit de metodología BIM permitirá evaluar eficientemente la mitigación de los costos de instalación del sistema de reciclaje de aguas grises.

2.5.3. Variables

2.5.3.1. Operacionalización de las Variables

Tabla N° 11: Matriz Operacional.

(Continúa)

HIPÓTESIS	TIPO	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTOS
Hipótesis principal	Variable Independiente	Sistema de Reciclaje de Aguas Grises	Caudal de agua grises	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de agua reciclada	m3/s	Análisis Hidráulico
			Costo de instalación	S/	Análisis de Costos
			Costo operacional	S/	Análisis de Costos
			costo de mantenimiento	S/	Análisis de Costos
	Variable Dependiente	Edificio Multifamiliar	Número de viviendas	und	Planos Arquitectónicos
			Habitantes	hab/vivienda	Planos Arquitectónicos
			Consumo de agua potable	m3/s	Norma de IS
			Número de aparatos sanitarios	und/vivienda	Planos de IS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11: Matriz Operacional.

Hipótesis Secundaria 1	Variable Independiente	Aguas Recicladas en inodoros, limpieza y riego de jardines	Caudal de agua grises	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de aguas tratadas	m3/s	Análisis Hidráulico
			Número de aparatos instalados usando aguas grises	und/vivienda	Planos de IS
	Variable Dependiente	Ahorro de Agua Potable	Caudal de agua potable	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de agua reciclada	m3/s	Análisis Hidráulico
			Costo de agua potable	S/	Análisis de Costos
Hipótesis Secundaria 2	Variable Independiente	Agua Desechada antes y después de la Instalación del Sistema	Caudal de agua grises	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de agua reciclada	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de aguas negras	m3/s	Análisis Hidráulico
	Variable Dependiente	Red Pública de Alcantarillado	Caudal de aguas negras	m3/s	Análisis Hidráulico
Hipótesis Secundaria 3	Variable Independiente	Software Revit	Número de aparatos sanitarios	und/vivienda	Norma de IS
			diámetro de tubería	pulgadas	Norma de IS
	Variable Dependiente	sistema de reciclaje de aguas grises	Caudal de agua grises	m3/s	Análisis Hidráulico
			Caudal de agua reciclada	m3/s	Análisis Hidráulico
			Costo de instalación	S/	Análisis de Costos
			Costo operacional	S/	Análisis de Costos
costo de mantenimiento	S/	Análisis de Costos			

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y método de investigación

Tipo de estudio es el grado de investigación con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio: Según Aria, F (2004) “las investigaciones pueden ser exploratorias, descriptivas, o explicativas (P.21)”.

“La investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada” (Sabino 1986).

En tal sentido el trabajo presentado se conceptualizó como una investigación de tipo descriptivo, debido a que se midió la tendencia de los datos recopilados de una manera estadística. Se realizaron las comparaciones entre los casos propuestos para determinar el ahorro de agua potable obtenido en un determinado lapso de tiempo.

Esta investigación se hizo mediante un método deductivo, debido a que se estudió el caso en particular de un edificio multifamiliar en Cercado de Lima.

3.2. Diseño de la Investigación

Ya establecidos todos los puntos anteriores fue necesario el desarrollo de un diseño para dar forma a la investigación.

Según Hernández, Fernández y Baptista, 2003, “El término diseño se refiere a un plan o una estrategia preestablecida para poder llegar a la información que se necesita lo más específica posible.” (p. 165). El presente trabajo se consideró como diseño cuasi experimental, ya que, no hubo manipulación de ningún tipo con respecto a las variables de estudio.

Hernández Fernández y Baptista (2003) definen el diseño cuasi experimental como, “los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”. (p. 166).

3.3. Población y muestra

Según Balestrini (1997) “Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo. Población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades poseen una característica común, que se estudia y da origen a los datos de la investigación, es decir, una población es un conjunto de todas las cosas que concuerden con una serie determinada de especificaciones” (P. 137).

Ante esto se puede especificar que la población de estudio estuvo conformada por el complejo multifamiliar Santa Beatriz, ubicado en el Jr. José Gálvez N° 1263 del distrito de Cercado de Lima que se encuentra compuesto por las torres I, II y III que tienen un total de 13, 20 y 10 pisos respectivamente, además de 04 departamentos en cada nivel.

La muestra es un "subconjunto representativo de un universo o población." (Morles, 1994, p. 54). La muestra se encontró conformada por el edificio multifamiliar Santa Beatriz Bloque II, el cual cuenta con 20 pisos. Además, tiene un total de 80 departamentos, 04 departamentos por nivel con áreas de 86.26 m², 85.58 m², 79.31 m² y 76.82 m².

3.4. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. “Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos” (Arias, 2006, p. 106).

3.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Se utilizaron documentos y registros para determinar el gasto promedio de agua de las personas que habitan el edificio multifamiliar. Así como también se recopilamos datos requeridos para el diseño hidráulico y consumo de agua según normativa. Se recurrió al uso de Software de diseño como AutoCAD y REVIT MEP para la adaptación de planos existentes de la edificación y posteriormente se realizó el diseño y metrado del sistema de recolección y tratamiento de aguas grises, así como el sistema de distribución del agua reciclada. Se elaboraron hojas de cálculo mediante MS Excel para determinar los gastos probables de agua potable y aguas grises por departamento y de esta manera se determinaron los diámetros de tuberías a proyectar y se determinó el ahorro generado por la implementación de un sistema de reciclado de aguas grises.

3.4.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

Se realizó una visita al Instituto Nacional de Estadística e Informática el día 10 de Junio del 2019, donde se accedió a la biblioteca institucional para obtener los datos referentes al estilo de vida de las personas referente al consumo de agua potable y generación de aguas negras en el distrito de Cercado de Lima.

Se recopilamos los datos requeridos para el diseño hidráulico y consumo de agua de la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones.

Se realizó una visita a las oficinas de Sedapal con el fin de obtener datos de los precios por metro cúbico de agua potable que se ha dispuesto en la zona de estudio en los últimos años y generar proyecciones.

Se solicitó una cotización vía email a la empresa Sermaqui, para conocer el valor actual de diseño y ejecución de la planta de tratamiento de aguas grises.

3.4.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Se analizaron los datos en tablas dinámicas de Microsoft Excel para generar proyecciones a 15 años del consumo y costo de agua potable en la ubicación del edificio multifamiliar.

Con los datos obtenidos de la Norma de Instalaciones Sanitarias se generó un diseño básico del sistema de reciclaje de aguas grises y se realizó el modelado en el software Revit.

Del Software Revit se determinaron las cantidades de accesorios y el metrado del sistema para poder presupuestar la inversión necesaria para elaboración del sistema de reciclado de aguas grises.

Se comparó el gasto que se genera en sistema convencional y en un sistema de reciclado de aguas grises y de esta manera se determinó el ahorro de agua potable. También se comparó el costo de instalación y mantenimiento en ambos casos a lo largo de 15 años.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se comprobó la viabilidad del sistema para generar recomendaciones de la implementación de este sistema en los edificios multifamiliares en futuros proyectos.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Lugar de estudio

4.1.1. Delimitación del área de estudio

Ubicación:

- Dirección: Jr José Galvez N° 1263.
- Distrito: Cercado.
- Provincia: Lima.
- Departamento: Lima.



Figura N° 18: Ubicación del proyecto.

Fuente: Google. (s.f.).

El área de estudio donde se está proponiendo el diseño de reciclaje de aguas grises se encuentra dentro del terreno que se puede observar en la *Figura N° 18*. El bloque propuesto es la torre B, fue elegida ya que contaba con un

diseño estructural uniforme en todos los niveles, contaba con la mayor cantidad de departamentos y se acomodaba a nuestras expectativas.

4.1.2. Particularidades de la vivienda multifamiliar

El edificio se encuentra ubicado en una zona estratégica ya que cuenta con centros comerciales cercanos, salidas de líneas de transporte público, como lo es el metropolitano, hospitales y salidas rápidas vehiculares como la vía expresa.

Este edificio cuenta con 20 pisos, habiendo 04 departamentos en cada nivel, haciendo un total de 80 departamentos. Siendo así, unos departamentos exclusivos dentro de la ciudad de Lima Metropolitana.

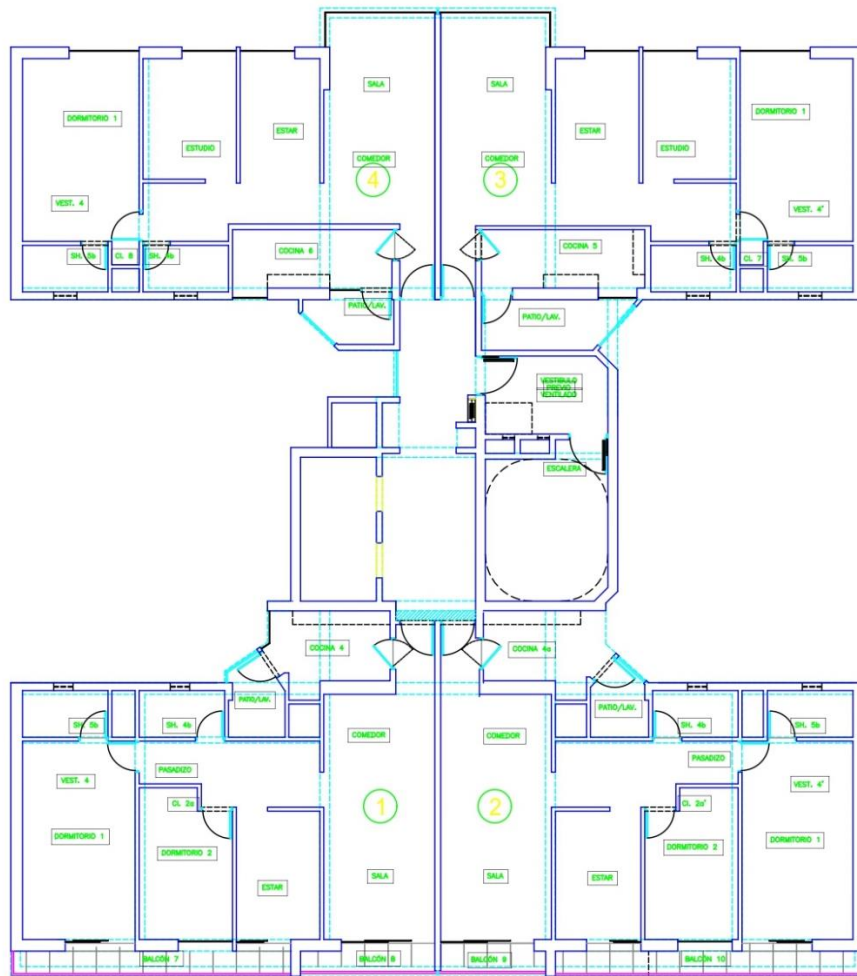


Figura N° 19: Planta típica de torre B

Fuente: Adaptación propia.

La torre B antes mencionada, se muestra en la *Figura N° 19* con la distribución de cada ambiente por departamento. El cuál contiene un aproximado de 90m² en los cuales posee una sala con comedor, sala de estudio, lavandería, 02 baños, uno de visitas y otro dentro del dormitorio principal, 02 dormitorios con salida a los balcones y una cocina.

Dentro de los ambientes a interés de la investigación son los baños, la cocina y la lavandería. Los baños cuentan con lavadero de manos, inodoro, ducha y un sumidero. La cocina sólo contiene un lavadero de platos. La lavandería contiene puntos de agua para lavadora, lavadero de ropa y sumidero.

4.2. Producción de aguas grises en el edificio multifamiliar

4.2.1. Gasto de agua potable en el edificio multifamiliar

De acuerdo a las investigaciones, Paolo Loza (2017) nos indica que el consumo de agua potable en la vivienda se tiene a una relación de costumbres que se realizó. Teniendo en cuenta que en el Perú no hay cultura del cuidado del agua, los consumos son elevados (ver Tabla N° 12).

Tabla N° 12: Consumos de agua en viviendas.

N°	Cosumos
1	Lavamanos
2	Inodoro
3	Duchas
4	Consumo Humano
5	Lavaplatos
6	Lavadero
7	Lavadora

Fuente: Elaboración propia.

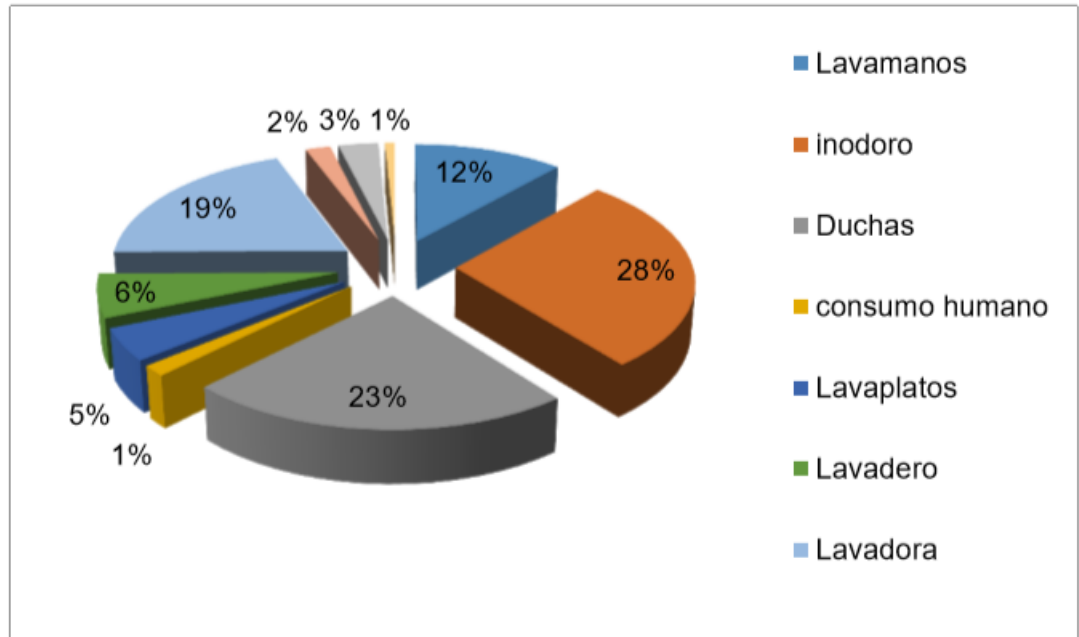


Figura N° 20: Consumo de agua potable por cada vivienda.

Fuente: Paolo Loza, (2017).

Como nos indica Paolo Loza, (2017), los porcentajes de consumos de agua en cada vivienda son los antes mencionados en la *Figura N° 20*. Además, se aprecia que los mayores consumos están en el tanque del inodoro, ducha, lavadora, lavamanos y el lavadero.

4.2.2. Demanda de aguas grises

La producción de las aguas grises se da a resultado de los consumos de los diferentes puntos de agua de la vivienda.

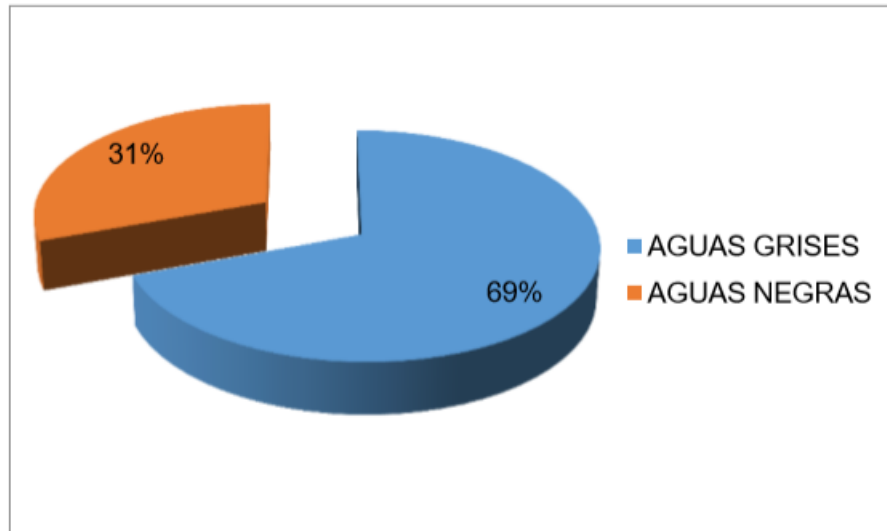


Figura N° 21: Comparación de las producción de aguas grises vs. aguas negras.

Fuente: Paolo Loza, (2013).

En la *Figura N° 21* podemos apreciar la comparación de las aguas grises y aguas negras en un departamento, obteniendo como resultado total de la producción un 31% de aguas negras y el 69% de las aguas grises Esta información es fundamental para saber el porcentaje de aguas negras es sustituido por aguas grises recuperadas del sistema de reciclaje instalado en el edificio.

4.2.3. Consideración e investigación de las características de las aguas grises según Niño y Martínez

Los distintos autores, luego mencionados en la Tabla N° 13, muestran un resultado en los análisis de las aguas grises.

Tabla N° 13: Análisis de las características en las aguas grises.

(Continúa)

PARAMETRO	RESULTADO DE ANÁLISIS	DATOS DE REFERENCIA	REFERENCIA
Aluminio (mg AL/l)	< 1	0.01 – 0.5	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Arsénico (mg As/l)	< 0,05	< 0.01	Hypes, W. 1974

Fuente: Niño y Martínez, (2013).

Tabla N° 13: Análisis de las características en las aguas grises.

Bario (mg Ba/l)	< 0,05	< 1	Hypes, W. 1974
Calcio (mg Ca/l)	9,87 - 21,6	0.1 - 1.4	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Cromo Total (mg Cr/l)	< 0,05	< 0.05	Hypes, W. 1974
Plata (mg Ag/l)	< 0,01	< 0.05	Hypes, W. 1974
Molibdeno (mg Mo/l)	< 0,5	0.2 – 0.5	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Magnesio (mg Mg/l)	5,43 - 7,75	0.4 – 5.0	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Acidez total (mg/l)	5,4 - 12,2	-	NR
Dureza Total (mg CaCO3/l)	45,3 - 83,8	-	NR
Turbidez (NTU)	74 - 87,6	29 – 375	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Alcalinidad total (mg CaCO3/l)	42,5 - 49,2	12 – 35	Jamrah, Al-Futaisi, Prathapar, & Al Harris, 2008
Sólidos totales (mg/l)	426 - 454	20 – 126	March, Gual, & Orozco, 2004
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	99 - 135	25 – 183	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	74 - 107	28 – 87	Hocaoglu, Insel, UbayCokgor, & Baban, 2010
Conductividad (µS/cm)	278,9 - 301	82 – 1845	Chaillou, Gérente, Andrès, & Wolbert, 2011
Fósforo total (mg P/l)	2,66 - 3,99	0.1 – 2.0	Chaillou, Gérente, Andrès, & Wolbert, 2011
Sulfatos (mg SO4 ²⁻ /l)	9,5 - 41,3	83 – 160	Hypes, W. 1974
Cloruros (mg Cl ⁻ /l)	23,9 - 26,2	20 – 30	Hypes, W. 1974
pH (Potencial de hidrógeno)	6,17 - 6,84	6.3 – 8.1	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
NTK (mg N/l)	5,6 - 9,6	1.7 – 34.3	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /l)	1,41 - 1,87		NR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg O ₂ /l)	240 - 327,4	47 – 466	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O ₂ /l)	519,2 - 591,9	100 – 700	Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009
Grasas y aceites (FOG) (mg/l)	32,5 - 53,2	7 – 230	AlJayyousi, 2003
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10,0 - 73,0	0.1 – 1.5 x 10 ⁶	Halalsheh, M. et al, 2008
Coliformes totales (NMP/100 mL)	24196 - 24200	56 – 8.03 x 10 ⁷	Halalsheh, M. et al, 2008
Escherichia coli (UFC/100 mL)	8 - 140	0 – 2.51 x 10 ⁷	Chaillou, Gérente, Andrès, & Wolbert, 2011
Surfactantes o Tensoactivos (Sustancias activas al azul de Metileno - MBAs) (SAAM) (mg/l)	15,07 - 34,69	45 – 170	AlJayyousi, 2003

Fuente: Niño y Martínez, (2013).

Nota: NR, es la sigla en la cual significa que no se ha podido encontrar alguna referencia bibliográfica.

Según la Tabla N° 13, se referencia de la tesis “ESTUDIO DE LAS AGUAS GRISES DOMÉSTICAS EN TRES NIVELES SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ” de E. Niño Rodríguez y N. Martínez Medina (2013), en el cual realizaron pruebas de agua gris con las características similares a la vivienda, haciendo la toma de consumo y producción de las aguas grises.

Además, se muestran los diferentes parámetros que establecen distintos autores, y podemos concluir que en la totalidad de análisis de la investigación realizada por los autores, se encuentran al margen de los parámetros de los referenciados.

Los indicadores pueden variar los datos ya que este estudio está basado en el nivel social, cultural y económico de la población que genera agua gris.

4.2.4. Dotación de servicio de agua potable

Se considera que los departamentos contaran con el servicio de agua fría y caliente por lo cual se instalara un calentador en cada uno de estos. La dotación de agua se da de acuerdo a la Norma IS. 010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones.

La característica del edificio implica utilizar la Tabla “b)” en el punto 2.2 Dotaciones de Agua Fría que se encuentra en la Norma, ya que estas dotaciones son las mínimas diarias para el caso en estudio donde conocemos el número de departamentos que existe en el edificio.

Tabla N° 14: Dotación de agua por departamento.

Número de dormitorios por departamento	Dotación por departamento, L/d
1	500
2	850
3	1200
4	1350
5	1500

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

La Tabla N° 14 nos indica la cantidad de dotación de agua fría por departamento sabiendo la cantidad de dormitorios que tiene cada uno de ellos.

Según las características del edificio contamos con 02 dormitorios por cada departamento por lo que la dotación a utilizar es de 850 litros/día. Contamos con 80 departamentos por lo que se espera consumir un total de 68,000.00 litros de agua fría cada día como se indica en la siguiente Tabla N° 15.

Tabla N° 15: Dotación de agua fría en edificio.

AGUA FRIA		
N° DE DORMITORIOS POR DEPARTAMENTO	2	UND
N° DE DEPARTAMENTOS POR PISO	4	UND
N° DE PISOS	20	UND
DOTACION POR DEPARTAMENTO	850	L/D
SUBTOTAL	68000	L/D

Fuente: Propia

Para el caso del consumo de agua caliente se utiliza la Tabla “a)” en el punto 3.2 Dotaciones de Agua Caliente que se encuentra inscrita en la Norma, ya que estas dotaciones son las mínimas diarias para el caso en estudio donde conocemos el número de departamentos que existe en el edificio.

Tabla N° 16: Dotación de agua caliente.

Número de dormitorios por vivienda	Dotación diaria en litros
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

La Tabla N° 16 nos indica la cantidad de dotación de agua caliente por departamento sabiendo la cantidad de dormitorios que tiene cada uno de ellos.

Según las características del edificio contamos con 02 dormitorios por cada departamento por lo que la dotación a utilizar es de 250 litros/día. Contamos con 80 departamentos por lo que se espera consumir un total de 20,000.00 litros de agua caliente cada día tal como se muestra en la Tabla N° 17 *Tabla N° 17*.

Tabla N° 17: Dotación de agua caliente en edificio.

AGUA CALIENTE		
N° DE DORMITORIOS POR DEPARTAMENTO	2	UND
N° DE DEPARTAMENTOS POR PISO	4	UND
N° DE PISOS	20	UND
DOTACION POR DEPARTAMENTO	250	L/D
SUBTOTAL	20000	L/D

Fuente: Propia.

4.2.5. Caudales producidos

La Máxima Demanda Diaria (MDD) que es dato importante previo al diseño hidráulico. Ésta se obtiene de la suma de las demandas contempladas. En el caso de estudio contemplamos brindar agua fría y agua caliente en el sistema.

$$MDD = \text{dotación de agua fría} + \text{dotación de agua caliente} \dots\dots\dots(61)$$

Donde:

- **MDD:** Máxima Demanda Diaria, en l/día.

El caudal necesario para suministrar el edificio tiene una MDD igual a 88,000.00 litros al día para un diseño hidráulico convencional del edificio.

Se espera que para el diseño hidráulico con el sistema de reciclaje de aguas grises instalado se pueda ahorrar el agua potable que se utiliza en el inodoro. De ese modo la *Figura N° 21* indica se puede ahorrar el 31% de la demanda diaria si usamos agua gris tratada en el inodoro.

El caudal necesario para suministrar el edificio con el sistema de reciclaje de aguas grises tiene una MDD igual a 60,720 litros al día, un 31% menos si solo se instala el sistema hidráulico convencional.

4.3. Diseño del Sistema Hidráulico Convencional del Edificio Multifamiliar

4.3.1. Diseño de Cisterna

Este sistema hidráulico convencional toma el agua desde la tubería matriz del Servicio Público que se encuentra en la Calle José Gálvez frente al edificio y traslada el caudal necesario para que, en primera instancia, llegue hasta una cisterna ubicada en el último sótano del edificio. Esta tubería se le denomina “Línea Alimentadora”.

Por ello el volumen de diseño de la cisterna está dado por la ecuación (62) y de acuerdo al resultado se puede obtener el dimensionamiento estructura:

$$V_{cis} = \frac{3}{4} * MDD * 1.2 \dots\dots\dots(62)$$

Donde:

- **V cis:** Volumen de cisterna, en m³
- **MDD:** Máxima Demanda Diaria, en m³/día.

El volumen de la cisterna está multiplicado en 1.2 ya que se considera un factor de seguridad en el diseño. Este volumen ascenderá a la cantidad de 79.20 m³ el cual está ubicado en un ambiente de 7.80m x 6.05m con una altura de 1.8m tal como se indica en la *Figura N° 22* del corte transversal de la cisterna con el cuarto de bombas que alimenta a un tanque elevado en el último nivel del edificio.

Se diseña la cisterna con un Control Eléctrico de Nivel de agua y válvula flotadora para cierre automático de flujo de agua. También cuenta con una alarma de Alto Nivel de Agua para un control permanente. En la cisterna se contempla en el nivel de rebose, un desfogue hacia una cisterna adicional que bombea aguas residuales del sótano hacia el colector principal ubicado en la Calle José Gálvez.

CISTERNA EN A3

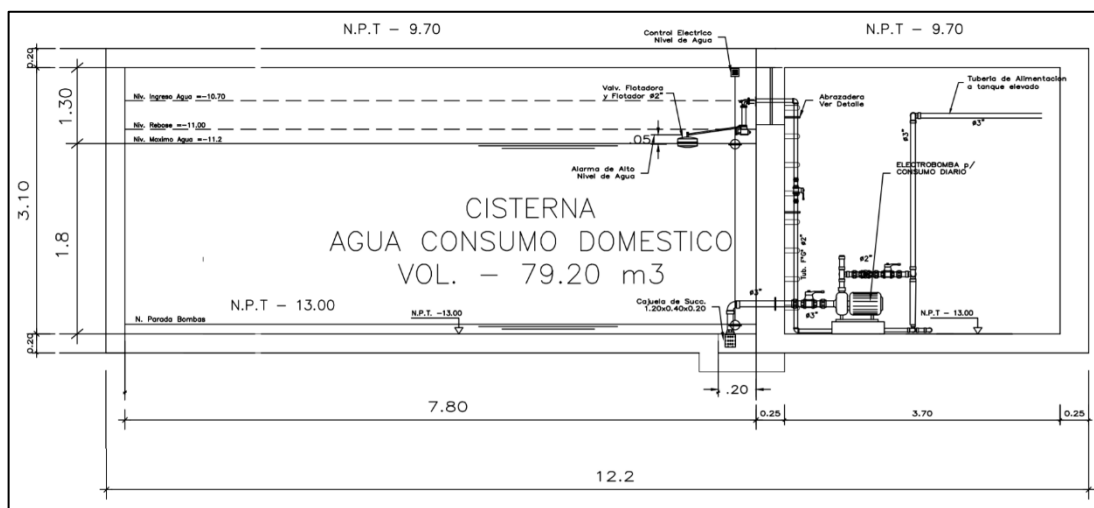


Figura N° 22: Cisterna de agua potable del sistema convencional.

Fuente: Elaboración Propia

La cisterna tiene una conexión en la parte inferior para la trasladar el agua desde la cisterna hacia el motor instalado en el cuarto de máquinas adyacente a esta. A esta tubería se le denomina “Línea de Succión” y es revestida en la toma con una canastilla para evitar que se filtren elementos solidos a la tubería.

4.3.2. Diseño de Tanque Elevado

El agua es bombeada desde la cisterna hacia el tanque elevado por la “Línea de Impulsión. Este tanque mantiene un volumen menor a comparación de la cisterna debido a que este será abastecido continuamente a lo largo de todo el día.

Por ello el volumen de diseño del tanque elevado está dado por la ecuación (63) y de acuerdo al resultado se puede obtener el dimensionamiento estructura:

$$V_{tan} = \frac{1}{3} * MDD * 1.2 \dots\dots\dots(63)$$

Donde:

- **V tan:** Volumen de tanque elevado, en m³
- **MDD:** Máxima Demanda Diaria, en m³/día.

El volumen del tanque elevado está multiplicado en 1.2 ya que se considera un factor de seguridad en el diseño. Este volumen ascenderá a la cantidad de 35.20 m³ el cual está ubicado en ambiente de 5.20m x 3.25m con una altura de 2.10m tal como se indica en la *Figura N° 23* del corte transversal del tanque elevado. No se contempla cuarto de bombas ya que las tuberías que se dirigen a los departamentos trabajan con presión por altura de agua.

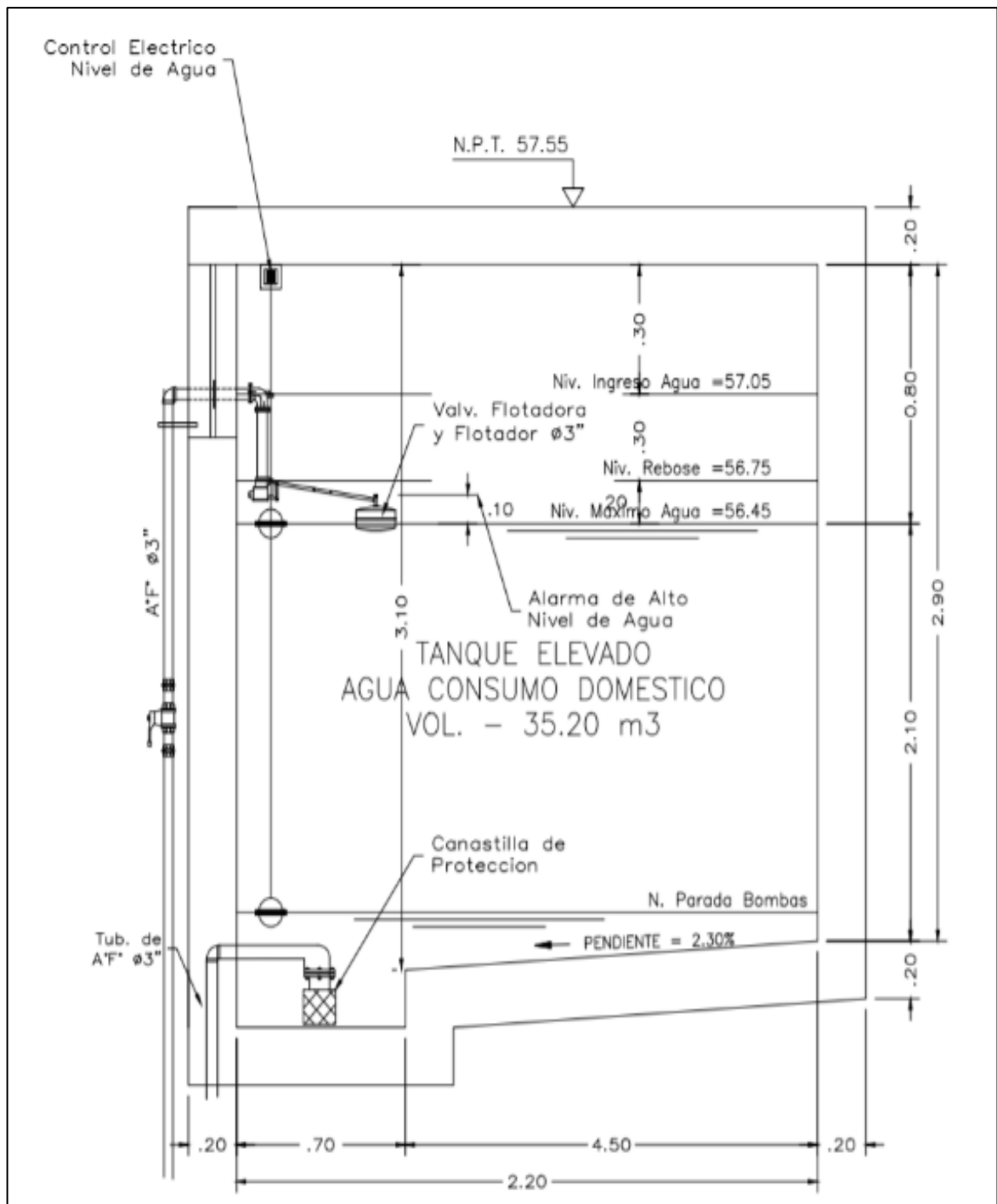


Figura N° 23: Tanque elevado de sistema convencional.

Fuente: Elaboración Propia

Se diseña el tanque elevado con un Control Eléctrico de Nivel de agua y válvula flotadora para cierre automático de flujo de agua. También cuenta con una alarma de Alto Nivel de Agua para un control permanente. En la cisterna se contempla en el nivel de rebose, un desfogue hacia el sistema sanitario del edificio.

La ubicación del tanque elevado es estratégica porque permite una distribución con longitudes de tuberías uniformes entre los departamentos y la diferencia de cotas necesaria desde el último punto de toma de agua del edificio hasta el nivel de máximo de agua, generando de esta manera la presión adecuada en la toma de agua.

4.3.3. Diseño de Red de Distribución de Agua Fría

Se establece un montante principal que se ubica en el centro del edificio desde el tanque elevado hasta los departamentos del primer nivel. En cada nivel de esta “Línea de Distribución” se ubica un gabinete en el área común con una toma en la montante para la distribución de agua potable a los departamentos tal como se muestra en la *Figura N° 24* como referencia. Toda la Red de Agua fría será de material PVC al igual que los accesorios. Todo tipo de válvulas serán de cobre.

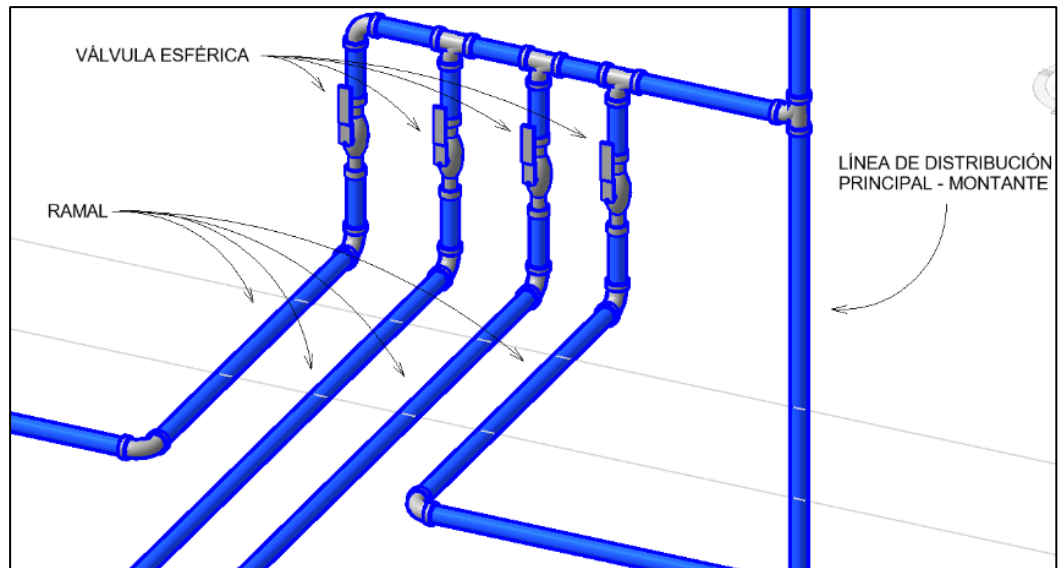


Figura N° 24: Gabinete de distribución de agua fría.

Fuente: Propia (Revit)

En cada una de las tomas de agua se instala una válvula esférica para un control general del agua potable en los departamentos. Se sugiere que este gabinete donde se encuentran las válvulas solo sea usado por personal calificado para los mantenimientos preventivos del sistema hidráulico general del edificio. Cada una de las tomas apreciadas en la *Figura N° 24* trasladan el agua potable a cada departamento para su distribución.

Para un control general de uso de agua potable de la vivienda, el propietario puede hacer uso de una válvula esférica como se muestra en la *Figura N° 25* en caso requiera regular las presiones o cierre total en caso de emergencia.

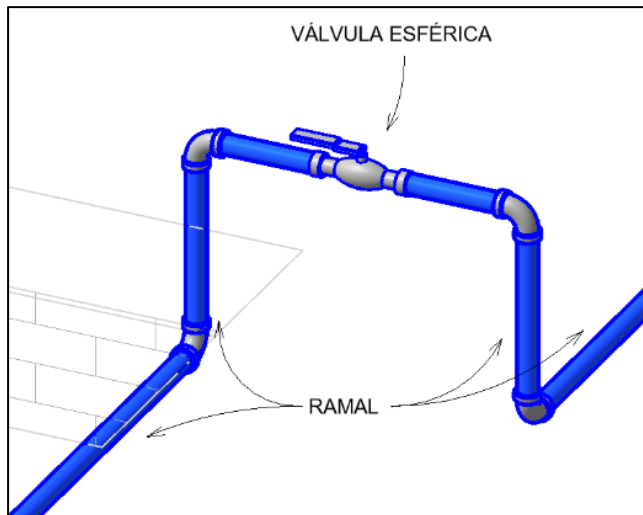


Figura N° 25: Válvula esférica principal del departamento.

Fuente: Propia (Revit)

Se distribuye en primera fase a con sub-ramales hacia la cocina y la lavandería. Es necesario precisar que en la lavandería se ubica el calentador para lo cual se requiere de un gran consumo de agua. En la *Figura N° 26* se observa que el área de la lavandería comprende una conexión de agua fría a la lavadora, lavadero y al calentador. Se debe tomar en cuenta algunas consideraciones para la conexión al calentador que indica el proveedor en caso lo requiera.

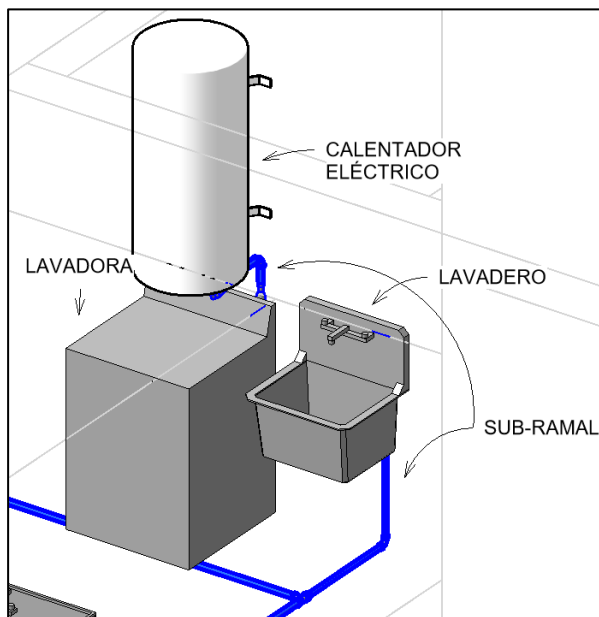


Figura N° 26: Lavandería de departamento.

Fuente: Propia (Revit).

De la misma manera se realiza la distribución para los 02 baños que se encuentran en el departamento. Partiendo del ramal se distribuyen 03 sub-ramales que conectan con el lavatorio inodoro y ducha del departamento como se muestra en la *Figura N° 27*. Esta conexión pasa por una válvula esférica que permite el cierre completo de agua potable en caso se realice mantenimiento en el baño.

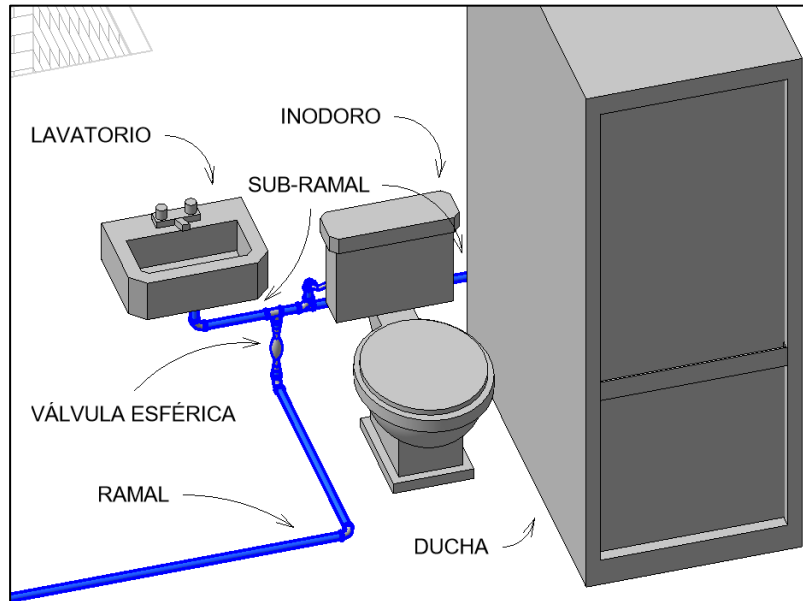


Figura N° 27: Baño de departamento.

Fuente: Propia (Revit)

Todos los departamentos del edificio están contemplados para mantener básicamente el mismo esquema de diseño y distribución para una mayor facilidad constructiva salvo alguna excepción arquitectónica del departamento.

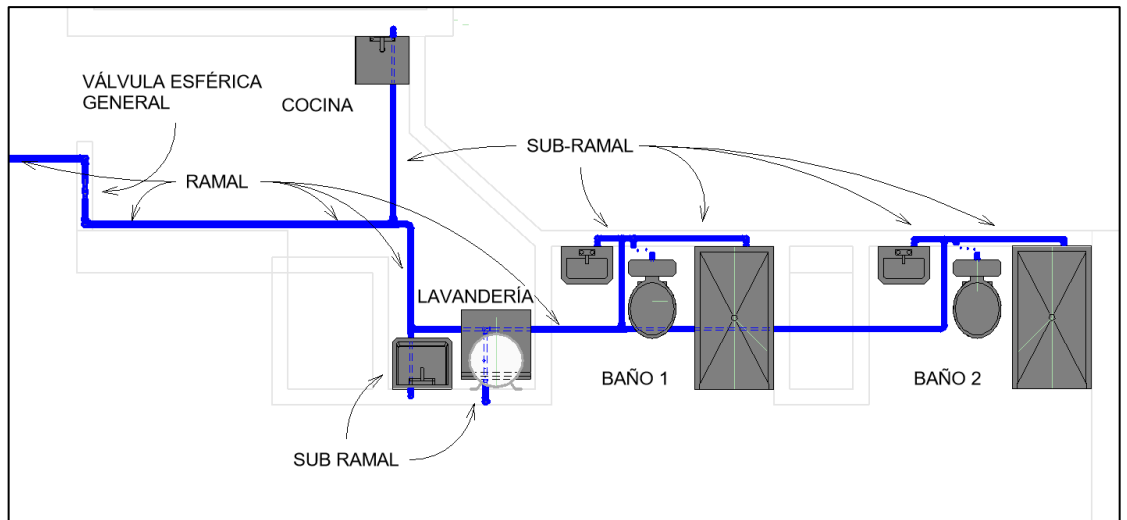


Figura N° 28: Vista en planta de distribución de agua fría en departamento.

Fuente: Propia

La *Figura N° 28* muestra la distribución en planta del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

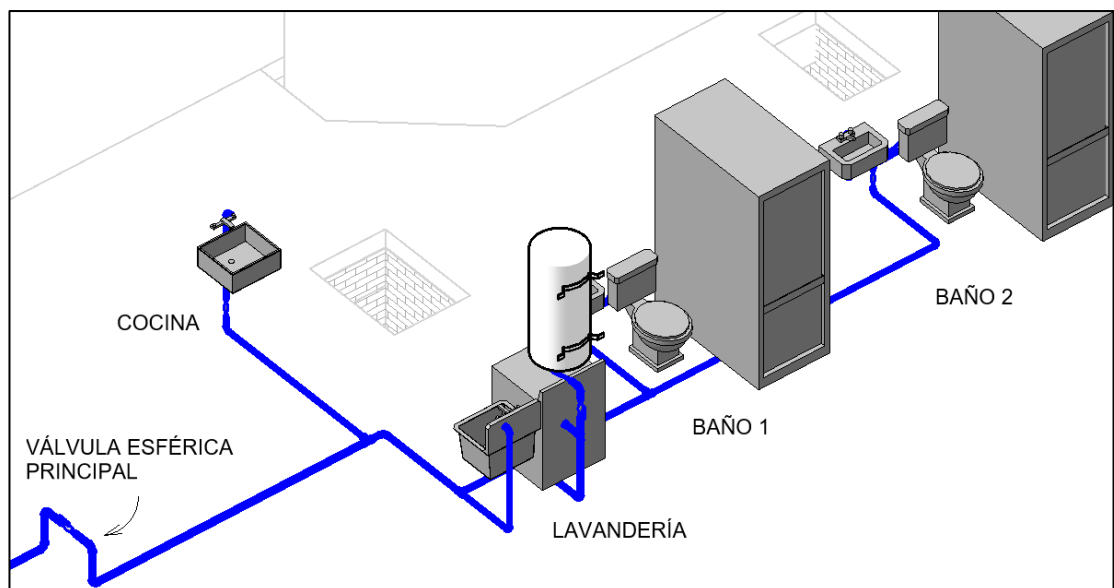


Figura N° 29: Isométrico de distribución de agua fría en departamento.

Fuente: Propia Revit.

La *Figura N° 29* muestra la distribución en isométrico del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

4.3.4. Diseño de Red de Distribución de Agua Caliente

Se establece una Red de Agua Caliente que parte desde cada calentador del departamento y solo se distribuye dentro de él para el lavadero que se encuentra en la cocina, a la lavandería y los baños (lavatorio y ducha). Esta red tendrá como diseño el color rojo y es de material CPVC al igual que sus accesorios. Todo tipo de llaves serán de cobre.

En el ramal se instala una válvula esférica principal como se indica en la *Figura N° 30* para controlar las presiones y el flujo de agua caliente en caso la red requiera mantenimiento. Adicionalmente a eso, también se instala en cada una de las áreas del departamento, válvulas esféricas controlando las presiones y flujos en los sub-ramales.

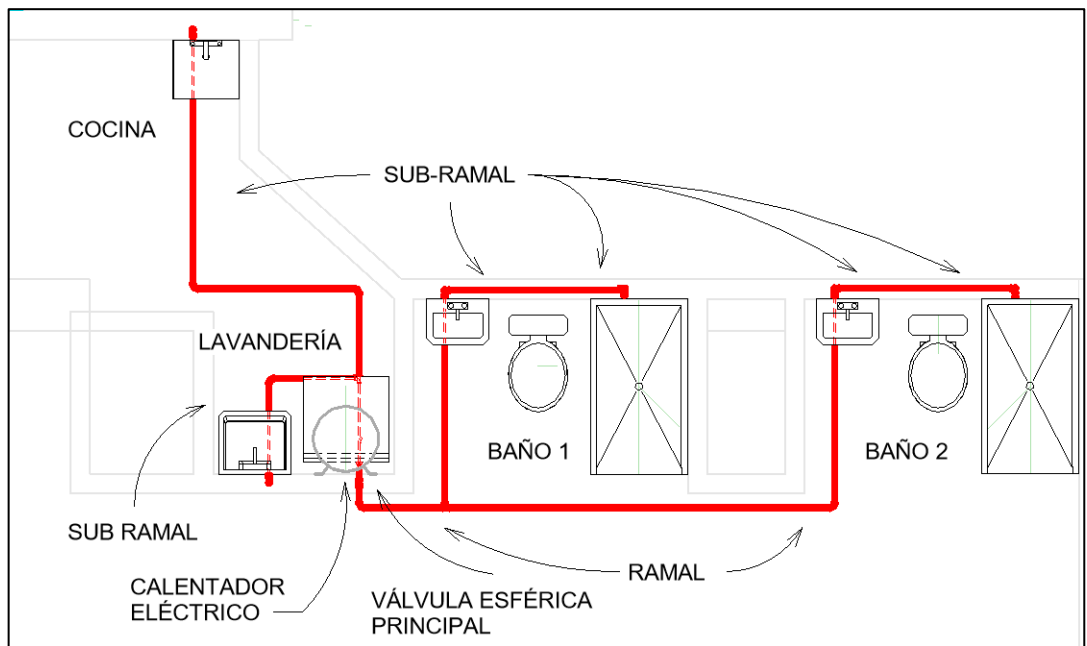


Figura N° 30: Vista en planta de distribución de agua caliente en departamento.

Fuente: Propia Revit

En el ramal se instala una válvula esférica principal como se indica en la *Figura N° 30* para controlar las presiones y el flujo de agua caliente en caso la red requiera mantenimiento. Adicionalmente a eso, también se instala en cada una de

las áreas del departamento, válvulas esféricas controlando las presiones y flujos en los sub-ramales.

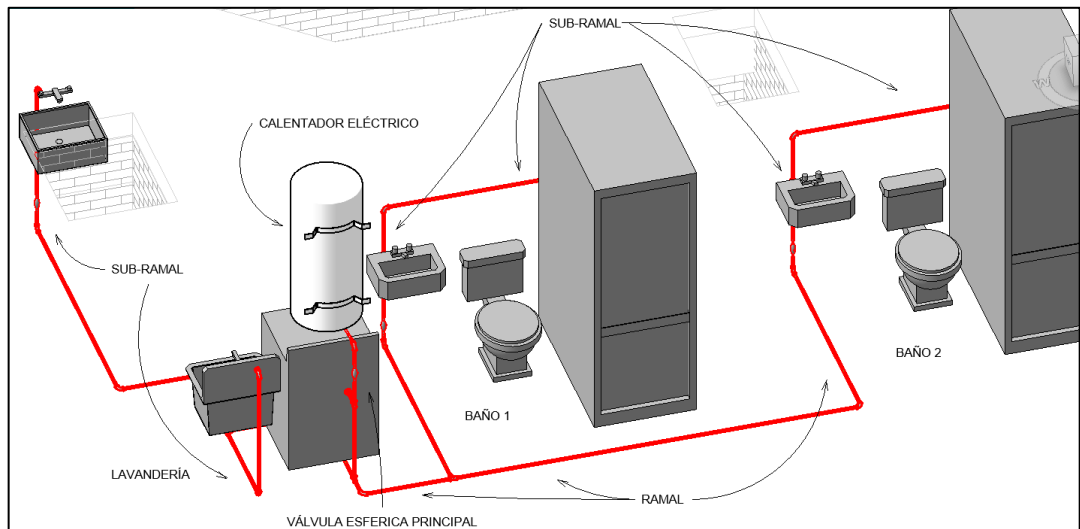


Figura N° 31: Isométrico de distribución de agua caliente en edificio.

Fuente: Propia Revit.

La *Figura N° 31* muestra la distribución en isométrico del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

4.3.5. Diseño de Red de Desagüe

La Red de Desagüe comprende la recolección, traslado y eliminación de las aguas negras de todos los departamentos hacia el alcantarillado público que se encuentra ubicado en la Calle José Gálvez.

En cada uno de los departamentos se instalan 3 montantes principales por donde se trasladan las aguas negras al colector principal. Estos montantes están ubicados estratégicamente cerca de los elementos sanitarios de cada área del departamento para que no requieran de mucha diferencia de cotas en pendiente a lo largo de su longitud.

Cada elemento sanitario cuenta con las trampas necesarias para evitar los malos olores y montantes específicamente ubicados para ventilación del desagüe. Cabe resaltar que estas conexiones, por ser sanitarias los codos deben ser como máximo de 45° cuando los empalmes sean horizontales.

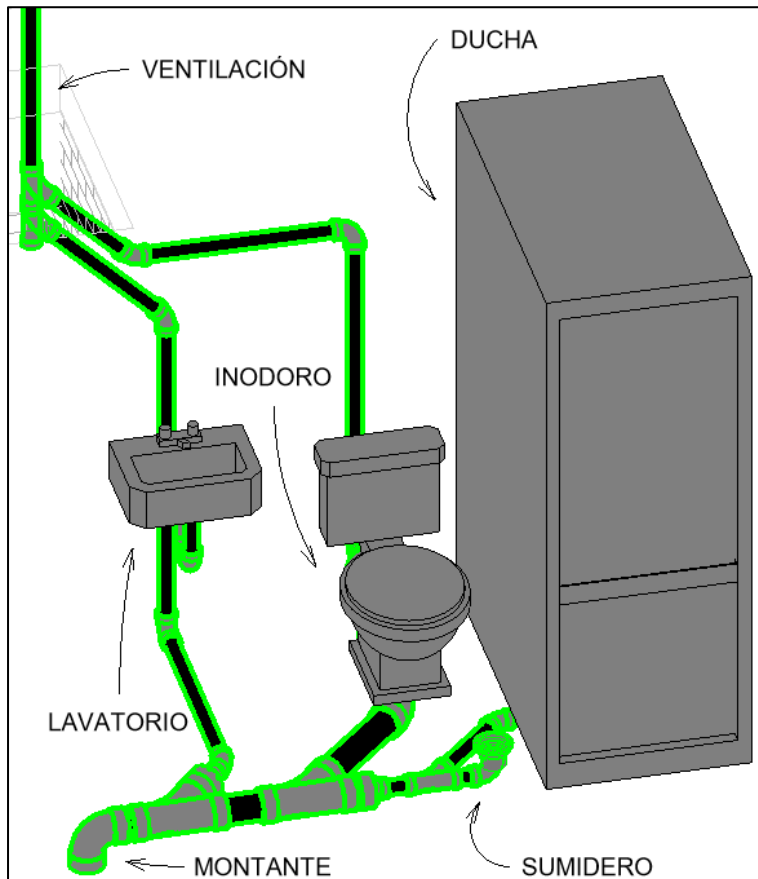


Figura N° 32: Distribución de desagüe en baño de departamento.

Fuente: Propia Revit

Cada baño tiene su propio montante de los cuales se conecta 01 lavatorio, 01 inodoro, 01 sumidero y 01 ducha. Cada baño también cuenta con su ducto de ventilación para el desagüe.

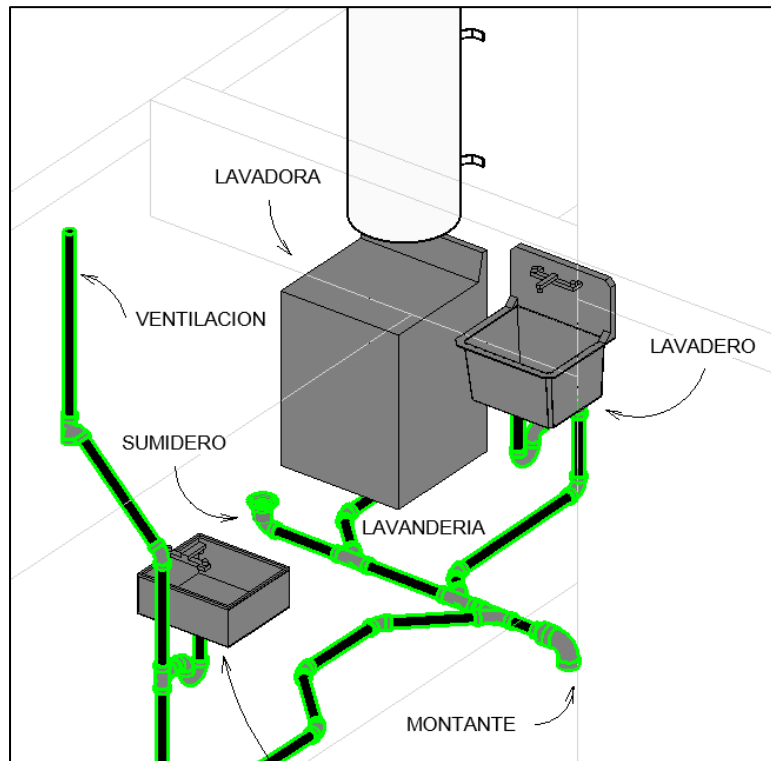


Figura N° 33: Distribución de desagüe en lavandería y cocina del departamento.

Fuente: Propia

Los aparatos sanitarios que se ubican en la zona de la cocina y lavandería se conectan a un montante diferente al de los baños. Como se aprecia en la *Figura N° 33* también cuenta con un ducto de ventilación para desagüe.

Para todos los niveles intermedios, el desagüe se conecta con el montante principal mediante una “Yee”.

La *Figura N° 34* muestra la distribución en planta del esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

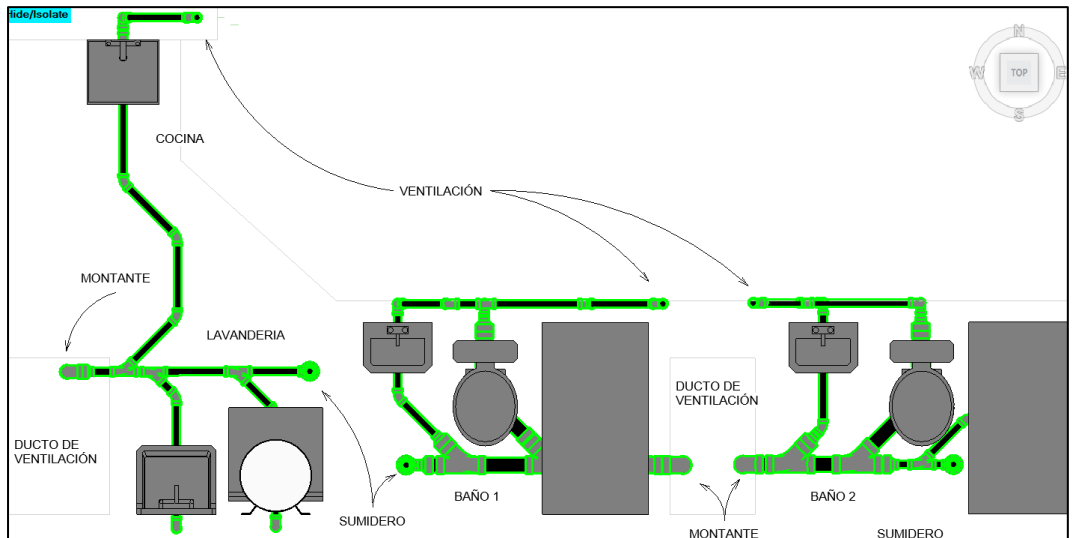


Figura N° 34: Distribución en planta de desagüe en departamento.

Fuente: Propia Revit.

La Figura N° 35 muestra la distribución en isométrico del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

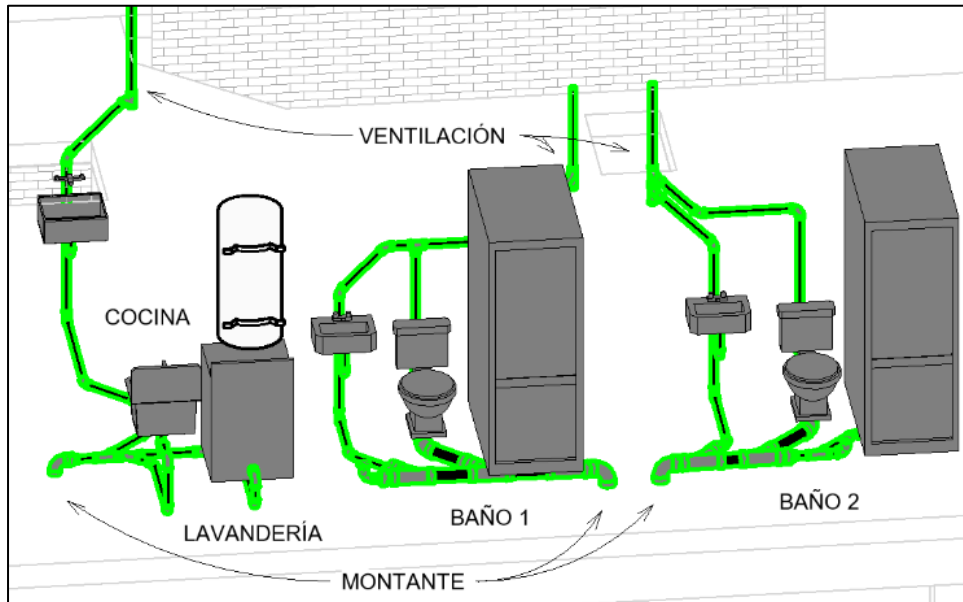


Figura N° 35: Isométrico de distribución de desagüe en departamento.

Fuente: Propia

El edificio cuenta en total con 6 ductos de ventilación por donde se instalan los montantes y también las tuberías de ventilación del desagüe como se puede apreciar en la *Figura N° 36* del isométrico del edificio.

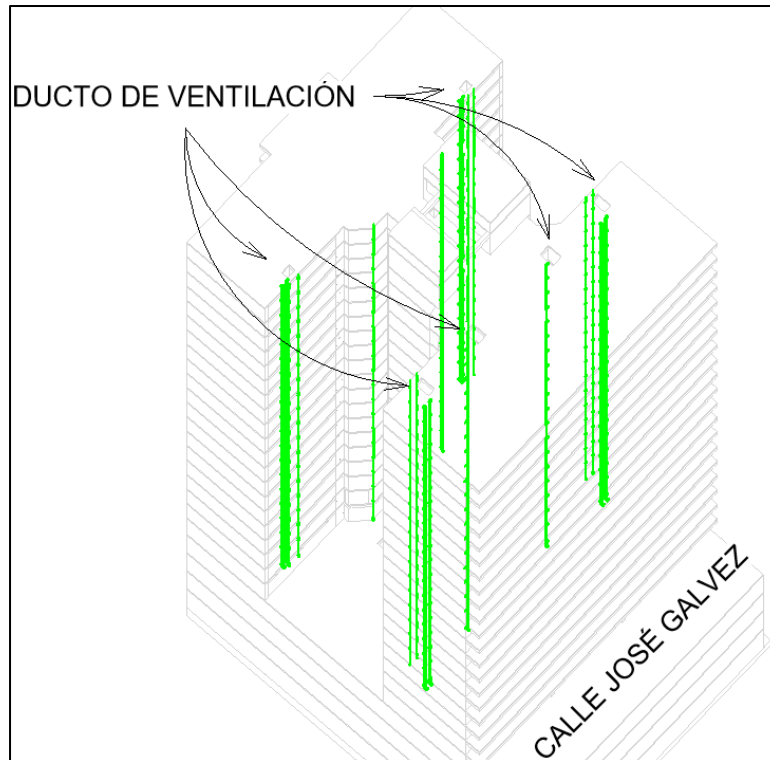


Figura N° 36: Montantes de desagüe en edificio.

Fuente: Propia Revit

Esta red cuenta con 12 montantes principales trasladan los desechos del colector principal del departamento hacia el colector principal del edificio que se encuentra bajo el nivel de vereda.

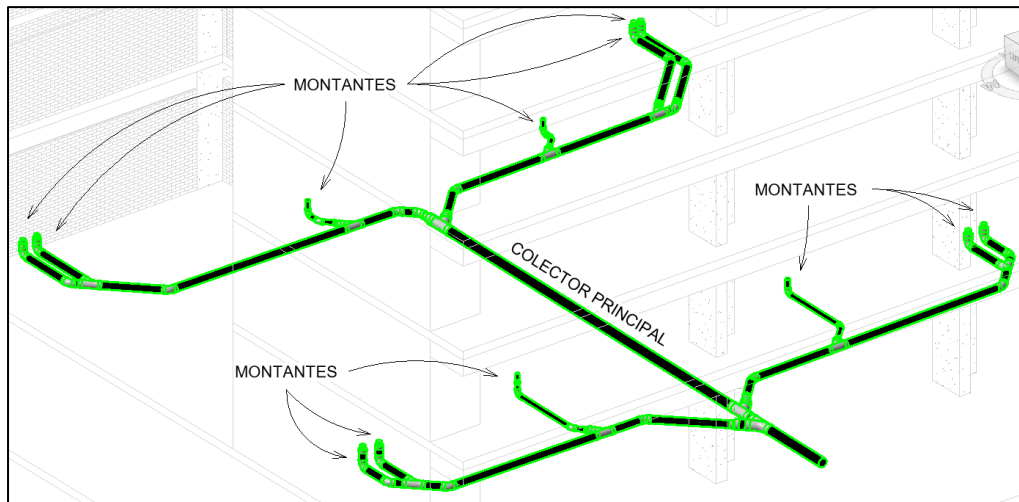


Figura N° 37: Isométrico de colectores de desagüe en edificio.

Fuente: Propia.

En la *Figura N° 37* se detalla de manera esquemática los 12 montantes que se conectan de manera gradual al colector principal del edificio. Este diseño no implica las instalaciones sanitarias que pueden existir en los sótanos del edificio ya que la red de desagüe solo trabaja por gravedad.

4.3.6. Análisis hidráulico de presiones

La Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones especifica en su Anexo N°01 las unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de agua fría y caliente de distribución en los edificios según los aparatos sanitarios y las características de los mismos.

Tabla N° 18: Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución.

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque – descarga reducida.	1,5	1,5	-
Inodoro	Con tanque.	3	3	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática.	6	6	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	3	3	-
Bidé		1	0,75	0,75
Lavatorio		1	0,75	0,75
Lavadero		3	2	2
Ducha		2	1,5	1,5
Tina		2	1,5	1,5
Urinario	Con tanque	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática.	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	2,5	2,5	-
Urinario	Múltiple (por m)	3	3	-

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Para el caso del edificio en estudio se utiliza la segunda y tercera columna de Unidades de Gasto de la Tabla N° 18, Cada departamento cuenta con 01 lavatorios, 02 lavaderos (se considera a la lavadora como un lavadero) 02 duchas y 02 inodoros indicados en la Tabla N° 19 con su respectiva Unidad de Gasto.

Tabla N° 19: Unidades de gasto en departamento.

		APARATO SANITARIO		AGUA FRIA	AGUA CALIENTE
	COCINA	LAVATORIO		0.75	0.75
	LAVANDERIA	LAVADERO		2	2
		LAVADERO	LAVADORA	2	2
DEPARTAMENTO	BAÑO 1	INODORO	CON TANQUE	3	0
		DUCHA		1.5	1.5
		LAVATORIO		0.75	0.75
	BAÑO 2	INODORO	CON TANQUE	3	0
		DUCHA		1.5	1.5
		LAVATORIO		0.75	0.75
		SUBTOTAL		15.25	9.25
		TOTAL		24.5	

Fuente: Propia.

Cada departamento se diseña con 24.5 Unidades de Gasto. El edificio cuenta con 80 departamentos por lo que tiene un total de 1960 Unidades de Gasto.

La Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones en su Anexo N°03 indica los gastos probables para la aplicación del Método de Hunter donde, según la cantidad de Unidades de Gastos del diseño tiene un equivalente en caudal que se debe considerar para el diseño del diámetro de la tubería. La Tabla N° 20 nos indica estos caudales denominados gastos:

Tabla N° 20: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter.

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

PARA EL
NUMERO DE
UNIDADES DE
ESTA
COLUMNA ES
INDIFERENTE
QUE LOS
APARATOS
SEAN DE
TANQUE O DE
VALVULA

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

No se encuentra el gasto probable para **1960 Unidades de Gasto** por lo que se requiere de una interpolación que da como resultado **11.97 litros/segundo**. Este caudal es obtenido de la tubería matriz del Servicio Público que es dirigido por la Línea Alimentadora a la cisterna y luego por Línea de Impulsión al tanque elevado.

Los gastos probables se distribuyen de manera uniforme según se requiere a cada uno de los niveles del edificio desde el tanque elevado hasta el primer nivel tal como indica la Tabla N° 21.

Tabla N° 21: Gastos probables por piso del edificio.

GASTOS PROBABLES POR PISO			
PISO	N° DEPARTAMENTO S ACUMULADOS	N° UNIDAD DE GASTO ACUMULADOS	GASTO PROBABLE (L/S)
20	80	1960	11.97
19	76	1862	11.37
18	72	1764	10.77
17	68	1666	10.17
16	64	1568	9.58
15	60	1470	8.98
14	56	1372	8.38
13	52	1274	7.78
12	48	1176	7.18
11	44	1078	6.58
10	40	980	5.99
9	36	882	5.39
8	32	784	4.79
7	28	686	4.19
6	24	588	3.59
5	20	490	2.99
4	16	392	2.39
3	12	294	1.80
2	8	196	1.20
1	4	98	0.60

Fuente: Propia

La cuarta columna nos indica el caudal mínimo que debe trasladar el montante principal esquematizado en la *Figura N° 24* desde el nivel 20 hasta el primer nivel.

Elaborado el diseño previo en la fase anterior podemos obtener todas las longitudes de las tuberías por tramo. Cada tramo es un segmento de la tubería entre dos puntos. Cada punto se ubica donde se encuentre un codo, una tee, una toma de agua o donde se requiera saber cuánto es la presión de agua en el lugar.

Los caudales se obtienen de la misma manera como los gastos probables por piso, mostrado en la Tabla N° 22, el caudal de los sub-ramales y ramales son la sumatoria de caudales que debe distribuir en la tubería.

Tabla N° 22: Gastos probables en departamento.

		APARATO SANITARIO	GASTO (L/S)
DEPARTAMENTO	COCINA	LAVATORIO	0.005
	LAVANDERIA	LAVADERO	0.012
		LAVADERO LAVADORA	0.012
	BAÑO 1	INODORO CON TANQUE	0.018
		DUCHA	0.009
		LAVATORIO	0.005
	BAÑO 2	INODORO CON TANQUE	0.018
		DUCHA	0.009
		LAVATORIO	0.005
	CALENTADOR ELECTRICO		0.056

Fuente: Propia

Según la ecuación (60) de Hazen-Williams y según las propiedades de la tubería de PVC y CPVC se elabora la Tabla N° 23 donde se indica caudales máximos para cada diámetro de tubería comercial.

Tabla N° 23: Caudales máximos para tubería comercial.

diámetro comercial	caudal máximo (l/s)
1/2"	0.212
3/4"	0.548
1"	1.087
1 1/4"	2.013
1 1/2"	3.25
2"	6.93
3"	20.15

Fuente: Propia

Las velocidades son obtenidas de la ecuación (38) donde la Velocidad es igual al caudal de diseño entre el área de la tubería propuesta para cada caso.

Se debe de considerar los accesorios o válvulas que están conectados a las tuberías ya que esto genera una pérdida de carga local según el diámetro y

características del accesorio instalado. Estos valores son obtenidos de la Tabla N° 24 donde se seleccionan los accesorios que se plantean en el diseño previo.

Tabla N° 24: Valores de coeficiente (K) según accesorios.

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
		Valores de K												
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

Fuente: Adaptación de Cameron Hydraulic data.

Estos valores de K son reemplazados en la ecuación (64) para determinar la pérdida de carga local en cada tramo de la red:

$$hf = K * \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(64)$$

Donde:

- **MDD:** Máxima Demanda Diaria, en l/día.
- **hf:** Pérdida de Carga Local o energía, en m.
- **K:** Coeficiente adimensional de resistencia que depende del elemento que produzca la pérdida de carga.
- **V:** velocidad del flujo, en m/s.
- **g:** aceleración de la gravedad, en m/s².

La pérdida de carga, al igual que la diferencia de cotas de cada punto del tramo de la tubería, se resta a la presión obtenida en el punto anterior del tramo

analizado y también a la diferencia de cotas del tramo analizado indicado en la ecuación (65):

$$P_n = P_{n-1} - hf_n - \Delta cotas \dots\dots\dots(65)$$

Finalmente, se describe la clase de tubería que se instala y su tipo para completar el cuadro elaborado en una Hoja de Cálculo con formato de la Tabla N° 25 para todos los tramos de tubería que se diseñan en el edificio. Tener en cuenta las presiones y velocidades mínimas para el análisis del diámetro de tubería.

Tabla N° 25: Plantilla de cálculo hidráulico.

							COTA DEL TERRENO	
TRAMO	L(m)	Q(lt/s)	D(")	V(m/s)	Accesorios	hf(m)	del(m)	al(m)
M AL 1	1.090	11.970	3	2.625	codo	0.439	-0.1	-0.1
1 al 2	9.760	11.970	3	2.625	codo	0.439	-0.1	-9.86
2 al 3	10.750	11.970	3	2.625	codo	0.506	-9.86	-9.86
3 al 4	12.770	11.970	3	2.625	codo	0.439	-9.86	-9.86
4 al 5	0.880	11.970	3	2.625	codo + valvula	0.506	-9.86	-10.74
5 al C	0.400	11.970	3	2.625	codo + valvula flotante	0.506	-10.74	-10.74

COTA PIEZOMETRICA		PRESION		OBSERVACION	
del(m)	al(m)	del(m)	al(m)	TIPO	ADUCTORA
-0.100	0.339	15.040	14.601	AGUA FRIA	RAMAL
0.339	-8.982	14.601	23.922	AGUA FRIA	RAMAL
-8.982	-8.476	23.922	23.416	AGUA FRIA	RAMAL
-8.476	-8.037	23.416	22.977	AGUA FRIA	RAMAL
-8.037	-8.412	22.977	23.352	AGUA FRIA	RAMAL
-8.412	-7.906	23.352	22.846	AGUA FRIA	RAMAL

Fuente: Propia

La línea de presión de para agua caliente se realiza de la misma manera sabiendo la presión con la que llega el agua fría al calentador eléctrico para luego distribuir según diseño hacia los puntos de toma de agua.

Para obtener los diámetros necesarios en la Red de Desagüe existen propuestas que nos brinda la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones según especifica en su Anexo N°06 en la Tabla N° 26, las unidades de descarga según los aparatos sanitarios y las características de los mismos.

Tabla N° 26: Unidades de descarga.

Tipos de aparatos	Diámetro mínimo de la trampa(mm)	Unidades de descarga
Inodoro (con tanque).	75 (3")	4
Inodoro (con tanque descarga reducida).	75 (3")	2
Inodoro (con válvula automática y semiautomática).	75 (3")	8
Inodoro (con válvula automática y semiautomática de descarga reducida).	75 (3")	4
Bidé.	40 (1 ½")	3
Lavatorio.	32 - 40 (1 ¼" - 1 ½")	1 - 2
Lavadero de cocina.	50 (2")	2
Lavadero con trituradora de desperdicios.	50 (2")	3
Lavadero de ropa.	40 (1 ½")	2
Ducha privada.	50 (2")	2
Ducha pública.	50 (2")	3
Tina.	40 - 50 (1 1/2" - 2")	2 - 3
Urinario de pared.	40 (1 ½")	4
Urinario de válvula automática y semiautomática.	75 (3")	8
Urinario de válvula automática y semiautomática de descarga reducida.	75 (3")	4
Urinario corrido.	75 (3")	4
Bebadero.	25 (1")	1 - 2
Sumidero	50 (2")	2

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Cada departamento cuenta con 01 lavatorio, 02 lavaderos (se considera a la lavadora como un lavadero) 02 duchas y 02 inodoros indicados en la Tabla N° 27 con su respectiva Unidad de Descarga.

Tabla N° 27: Unidades de descarga en departamento.

		APARATO SANITARIO		UNIDAD DE DESCARGA
DEPARTAMENTO	COCINA	LAVATORIO		2
		LAVANDERIA	LAVADERO	
	LAVADERO		LAVADORA	2
	BAÑO 1	INODORO	CON TANQUE	4
		DUCHA		2
		LAVATORIO		2
		BAÑO 2	INODORO	CON TANQUE
	DUCHA		2	
	LAVATORIO		2	

Fuente: Propia

En el diseño se plantea 03 montantes por departamento, una para cada baño y una para el área de cocina y lavandería. Estos montantes deben mantener el número máximo de unidades de descarga que pueden ser conectados a los conductos horizontales de desagüe y a los montantes según la cantidad de pisos que requiere el diseño.

Tabla N° 28: Número máximo de unidades de descarga en montantes de desagüe.

Diámetro del tubo(mm)	Cualquier horizontal de desagüe (")	Montantes de 3 pisos de altura	Montantes de más de 3 pisos	
			Total en la montante	Total por Piso
32 (1 ¼")	1	2	2	1
40 (1 ½")	3	4	8	2
50 (2")	6	10	24	6
65 (2 ½")	12	20	42	9
75 (3")	20	30	60	16
100 (4")	160	240	500	90
125 (5")	360	540	1100	200
150 (6")	620	960	1900	350
200 (8")	1400	2200	3600	600
250 (10")	2500	3800	5660	1000
300 (12")	3900	6000	8400	1500
375 (15")	7000	-	-	-

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Los diámetros obtenidos de la Tabla N° 28 se conectan a los colectores que se encuentran en el primer nivel del edificio. Estos diámetros de los

conectores se diseñan con el número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado según la Tabla N° 29.

Tabla N° 29: Número máximo de unidades de descarga para colectores.

Diámetro del tubo(mm)	Pendiente		
	1%	2%	4%
50 (2")	-	21	26
65 (2 ½")	-	24	31
75 (3")	20	27	36
100 (4")	180	216	250
125 (5")	390	480	575
150 (6")	700	840	1000
200 (8")	1600	1920	2300
250 (10")	2900	3500	4200
300 (12")	4600	5600	6700
375 (15")	8300	10000	12000

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Estos colectores se unen según diseño y se descargan en la Red de Alcantarillado Publico en la Calle José Gálvez frente al edificio.

4.4. Diseño del Sistema Hidráulico con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises

4.4.1. Esquema preliminar de reciclado de flujos

El sistema hidráulico contempla la instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas Grises en la parte del sótano del edificio como parte fundamental para el reciclamiento de las aguas grises captadas de los aparatos sanitarios que nos otorgan la calidad de agua requerida para ser tratada.

El agua potable es trasladada a una cisterna en el sótano del edificio para luego ser bombeada a un primer tanque elevado que solo acumula el agua potable para distribuir a los departamentos de todos niveles y solo a los aparatos sanitarios que no generen aguas negras.

Se instala una Red de Recolección de Aguas Grises que lleva por medio de la gravedad las aguas grises hacia la Planta de Tratamiento ubicada en el sótano para ser tratada y luego bombeada al segundo tanque elevado que solo acumula el agua potable para distribuir a los departamentos de todos niveles y solo a los aparatos sanitarios que generen aguas negras (inodoro). Las aguas negras son recolectadas y eliminadas al Alcantarillado Público.

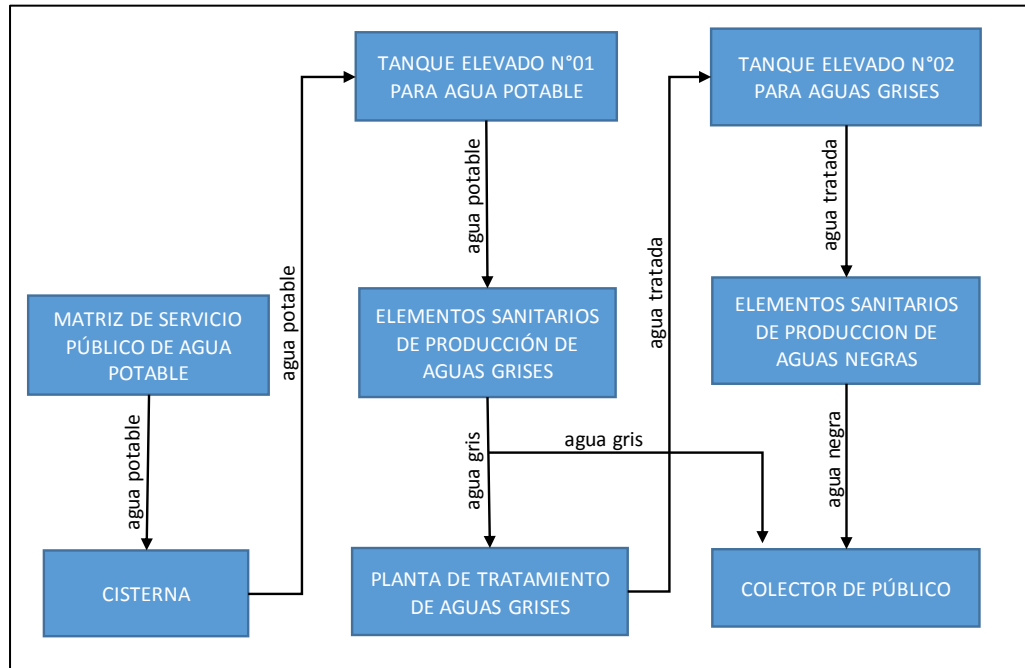


Figura N° 38: Esquema preliminar de reciclado de flujos.

Fuente: propia

Cabe mencionar como se indica en la *Figura N° 38* que no se requiere tratar el caudal completo de aguas grises que se generan por lo que este caudal adicional es eliminado al Alcantarillado Público. En caso no se genere la cantidad de aguas grises necesarias para abastecer los inodoros se propone instalar una toma de agua potable para lograr el caudal necesario en casos excepcionales.

4.4.2. Diseño de Cisterna de agua potable

Este sistema hidráulico que contempla la instalación de un sistema de reciclaje de aguas grises toma el agua desde la tubería matriz del Servicio Público que se encuentra en la Calle José Gálvez frente al edificio y traslada el caudal necesario para que, en primera instancia, llegue hasta una cisterna ubicada en el último sótano del edificio. Esta tubería se le denomina “Línea Alimentadora”.

Por ello el volumen de diseño de la cisterna está dado por la ecuación (62) y de acuerdo al resultado se puede obtener el dimensionamiento estructura considerando el MDD ya obtenido de 60,720 litros al día.

El volumen de la cisterna está multiplicado en 1.2 ya que se considera un factor de seguridad en el diseño. Este volumen ascenderá a la cantidad de 54.65 m³ el cual está ubicado en un ambiente de 7.00m x 4.00m con una altura de 1.6m tal como se indica en las *Figura N° 39* del corte transversal de la cisterna con el cuarto de bombas que alimenta a un tanque elevado en el último nivel del edificio.

Se diseña la cisterna con un Control Eléctrico de Nivel de agua y válvula flotadora para cierre automático de flujo de agua. También cuenta con una alarma de Alto Nivel de Agua para un control permanente. En la cisterna se contempla en el nivel de rebose, un desfogue hacia una cisterna adicional que bombea aguas residuales del sótano hacia el colector principal ubicado en la Calle José Gálvez.

CISTERNA EN A3

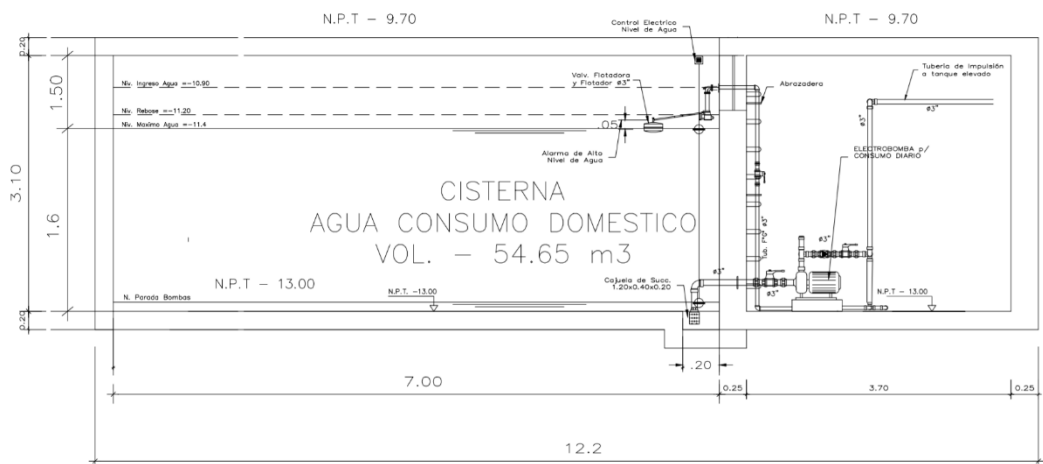


Figura N° 39: Cisterna de agua potable de sistema de reciclaje de aguas grises.

Fuente: Elaboración Propia

La cisterna tiene una conexión en la parte inferior para la trasladar el agua desde la cisterna hacia el motor instalado en el cuarto de máquinas adyacente a esta. A esta tubería se le denomina “Línea de Succión” y es revestida en la toma con una canastilla para evitar que se filtren elementos solidos a la tubería.

4.4.3. Diseño de Tanque Elevado N°01 de Agua Potable

El agua es bombeada desde la cisterna de agua potable hacia el tanque elevado por la “Línea de Impulsión”. Este tanque mantiene un volumen de almacenamiento menor a comparación de la cisterna de agua potable debido a que este será abastecido continuamente a lo largo de todo el día.

Por ello el volumen de diseño del tanque elevado está dado por la ecuación (63) y de acuerdo al resultado se puede obtener el dimensionamiento estructura considerando el MDD ya obtenido de 60,720 litros al día.

El volumen del tanque elevado está multiplicado en 1.2 ya que se considera un factor de seguridad en el diseño. Este volumen asciende a la cantidad de 24.29 m³ el cual está ubicado en ambiente de 5.20m x 3.25m con una altura de 1.5m tal como se indica en las *Figura N° 40* del corte transversal del tanque elevado. No se contempla cuarto de bombas ya que las tuberías que se dirigen a los departamentos trabajan con presión por altura de agua.

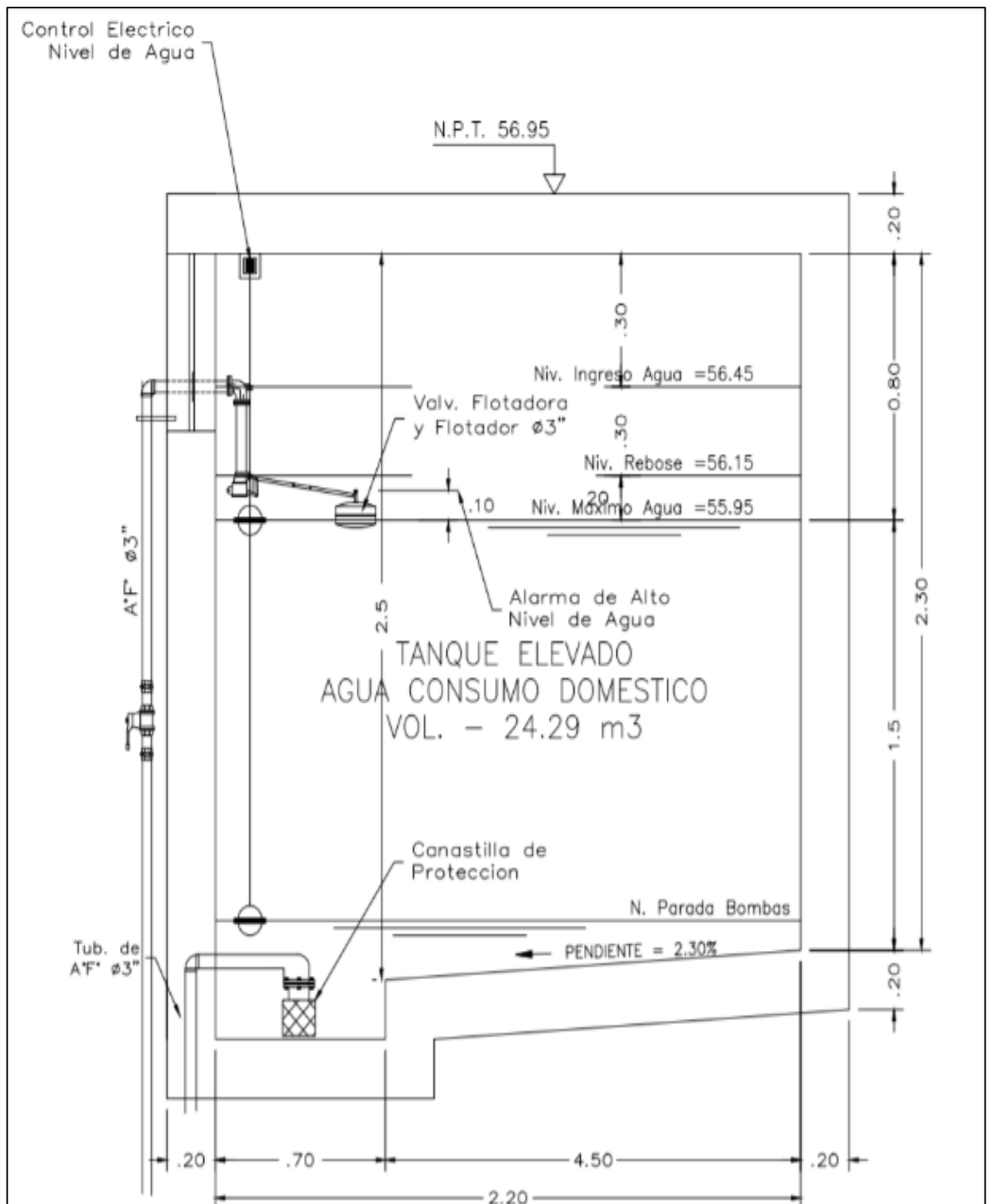


Figura N° 40: Tanque elevado N° 1

Fuente: Elaboración Propia

Se diseña el tanque elevado con un Control Eléctrico de Nivel de agua y válvula flotadora para cierre automático de flujo de agua. También cuenta con una alarma de Alto Nivel de Agua para un control permanente. En la cisterna se contempla en el nivel de rebose, un desfogue hacia el sistema sanitario del edificio.

La ubicación del tanque elevado es estratégica porque permite una distribución con longitudes de tuberías uniformes entre los departamentos y la diferencia de cotas necesaria desde el último punto de toma de agua del edificio hasta el nivel de máximo de agua, generando de esta manera la presión adecuada en la toma de agua.

4.4.4. Diseño de Tanque Elevado N°02 de Agua Tratada

Se diseña un tanque adicional en la propuesta de la implementación del sistema de reciclaje de aguas grises. El agua es bombeada desde la Planta de Tratamiento de Aguas Grises hacia el Tanque Elevado N°02 por la “Línea de Impulsión de Agua Tratada”. Este tanque mantiene un volumen menor a comparación de la cisterna y al Tanque Elevado N°01 de agua potable debido a que solo abastece a los inodoros del edificio.

El volumen de diseño del tanque elevado es la diferencia ente el volumen de almacenamiento del Tanque Elevado convencional y el Tanque Elevado N°01 con el sistema propuesto.

El volumen del tanque elevado asciende a la cantidad de 10.92 m³ el cual está ubicado en ambiente de 3.20m x 2.10m con una altura de 1.7m tal como se indica en las *Figura N° 41* del corte transversal del tanque elevado. No se contempla cuarto de bombas ya que las tuberías que se dirigen a los departamentos trabajan con presión por altura de agua.

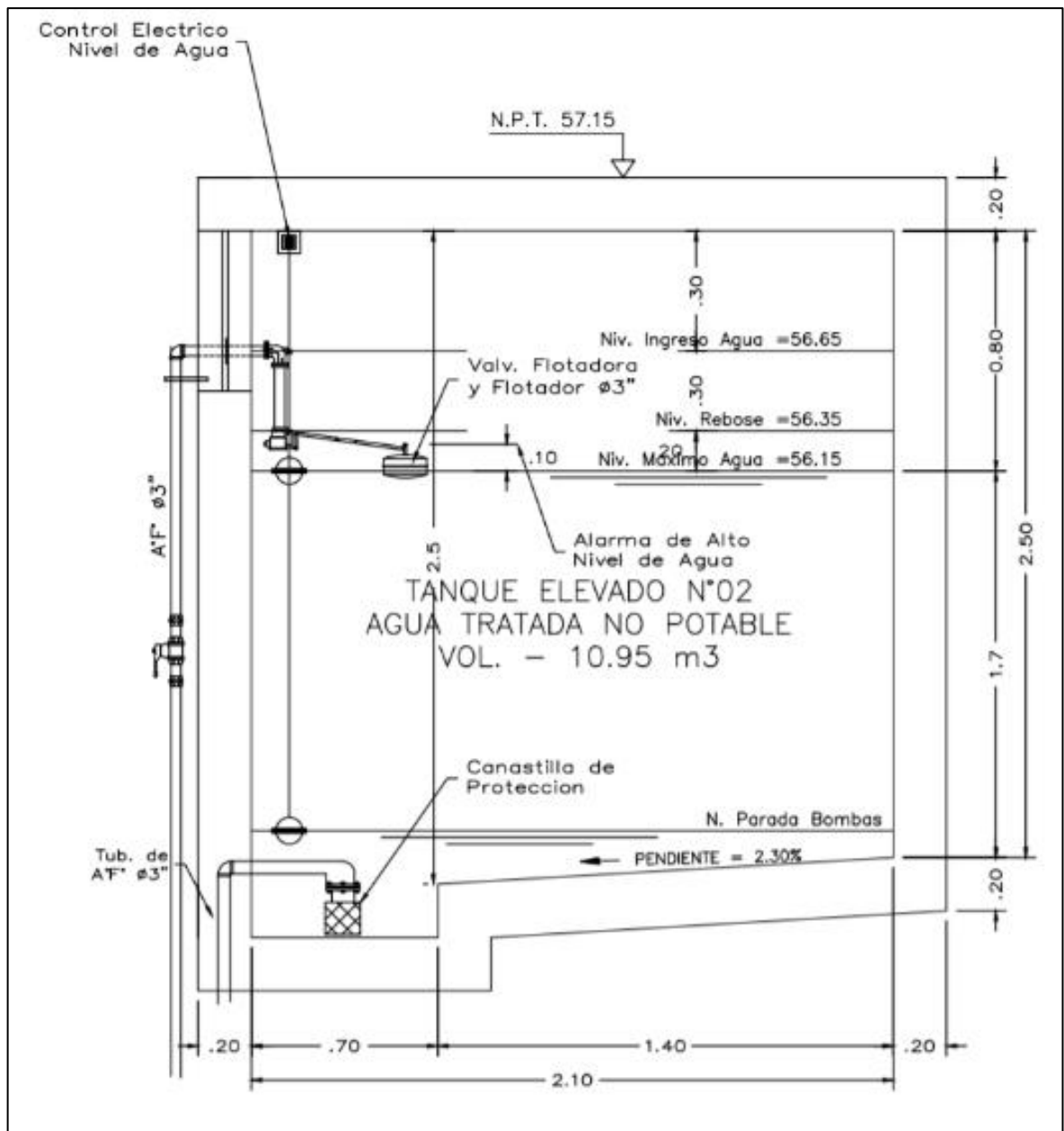


Figura N° 41: Tanque elevado N° 2 de agua tratada.

Fuente: Elaboración Propia

Se diseña el tanque elevado con un Control Eléctrico de Nivel de agua y válvula flotadora para cierre automático de flujo de agua. También cuenta con una alarma de Alto Nivel de Agua para un control permanente. En la cisterna se contempla en el nivel de rebose, un desfogue hacia el sistema sanitario del edificio.

La ubicación del tanque elevado es estratégica porque permite una distribución con longitudes de tuberías uniformes entre los departamentos y la diferencia de cotas necesaria desde el último punto de toma de agua del edificio hasta el nivel de máximo de agua, generando de esta manera la presión adecuada en la toma de agua.

4.4.5. Esquema de instalación de Planta de Tratamiento

El diseño de la Planta de Tratamiento viene dado por el fabricante del elemento para lo cual se hace el requerimiento vía cotización para un caudal mínimo de tratamiento de 27.28 m³/día.

La Planta de Tratamiento cuenta con cinco partes importantes donde se hace tratamiento a las aguas grises para luego ser bombeada al Tanque Elevado N°02 de Agua Tratada:

- Cámara de Estabilización y Desengrasado
- Filtro percolador de Flujo Ascendente Anaeróbico
- Cámara Aeróbico de Lodos Activados con Lecho Fluido MBBR
- Cámara de Cantación Secundaria
- Cámara de Bombeo y estabilización

Todo este procedimiento de tratamiento de agua está especificado en su Ficha Técnica en el Anexo N° 10.

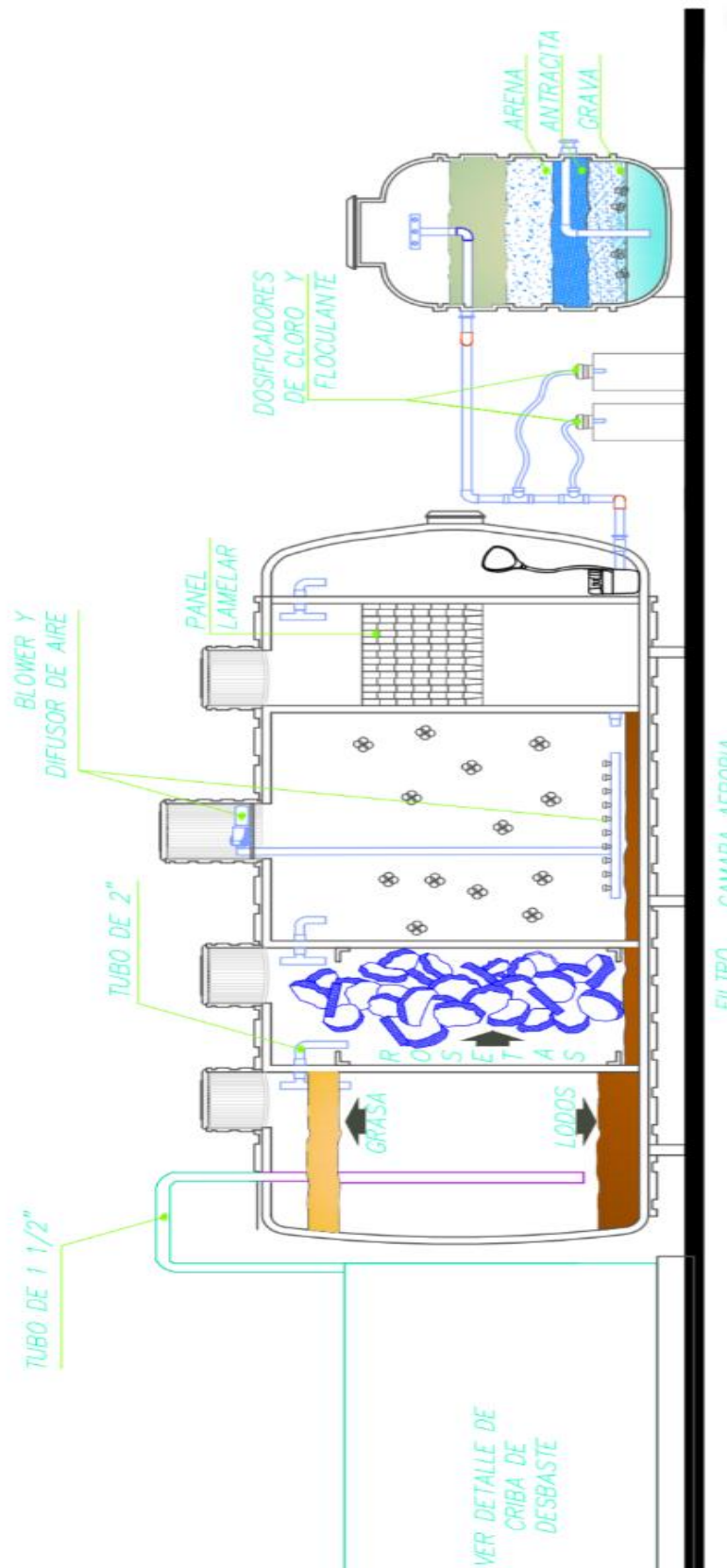


Figura N° 42: Perfil de planta de tratamiento de aguas grises.

Fuente: Cotización Sermaqui

El tanque está ubicado en el sótano N°03 del edificio ocupando un área de 6.20m x 2.00m y un alto de 2m ya considerando las cámaras de bombeo hacia el Tanque Elevado N°02 de Agua Tratada.

4.4.6. Diseño de Red de Distribución de Agua Fría

Se establece un montante principal que se ubica en el centro del edificio desde el Tanque Elevado N° 01 hasta los departamentos del primer nivel. En cada nivel de esta “Línea de Distribución” se ubica un gabinete en el área común con una toma en el montante para la distribución de agua potable a los departamentos tal como se muestra en la Figura N° 43 como referencia. Toda la Red de Agua fría será de material PVC al igual que los accesorios. Todo tipo de válvulas serán de cobre.

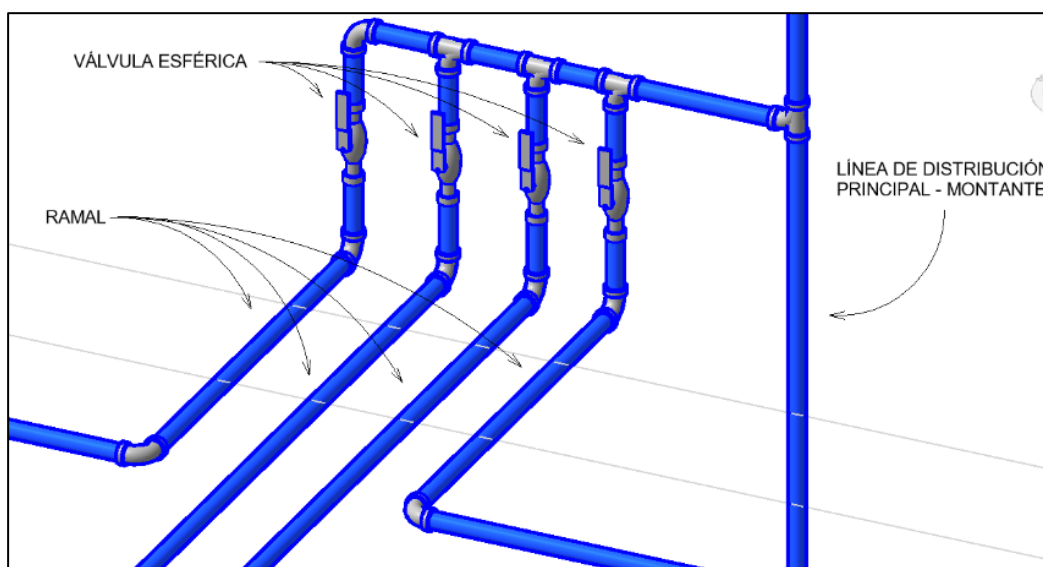


Figura N° 43: Gabinete de agua potable.

Fuente: Propia (Revit)

En cada una de las tomas de agua se instala una válvula esférica para un control general del agua potable en los departamentos. Se sugiere que este gabinete donde se encuentran las válvulas solo sea usado por personal calificado para los mantenimientos preventivos del sistema hidráulico general del edificio.

Cada una de las tomas apreciadas en la Figura N° 43 trasladan el agua potable a cada departamento para su distribución.

Para un control general de uso de agua potable de la vivienda, el propietario puede hacer uso de una válvula esférica como se muestra en la *Figura N° 44* en caso requiera regular las presiones o cierre total en caso de emergencia.

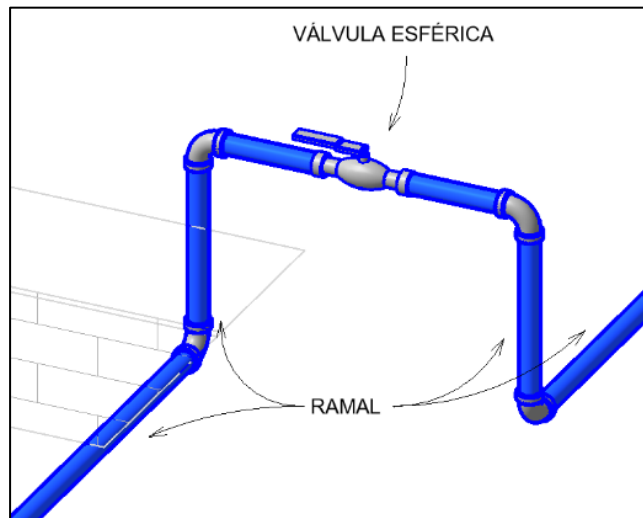


Figura N° 44: Válvula esférica principal de departamento.

Fuente: Propia (Revit)

Se distribuye en primera fase a con sub-ramales hacia la cocina y la lavandería. Es necesario precisar que en la lavandería se ubica el calentador para lo cual se requiere de un gran consumo de agua. En la *Figura N° 45* se observa que el área de la lavandería comprende una conexión de agua fría a la lavadora, lavadero y al calentador. Se debe tomar en cuenta algunas consideraciones para la conexión al calentador que indica el proveedor en caso lo requiera.

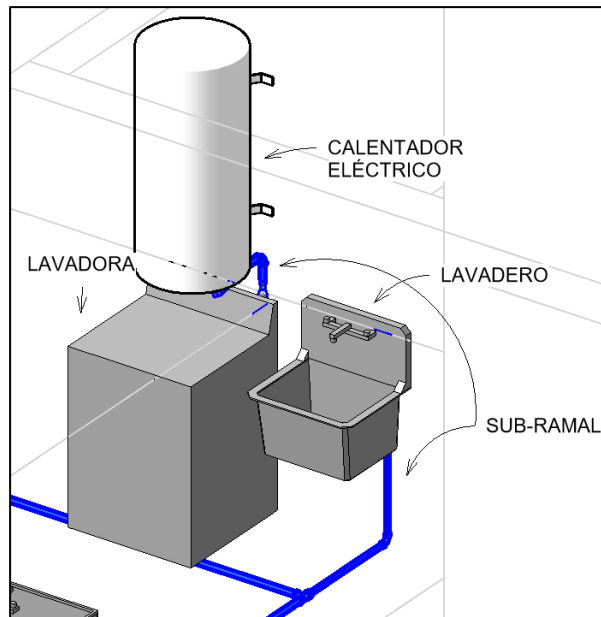


Figura N° 45: Distribución de agua fría potable en lavandería de departamento.

Fuente: Propia (Revit).

De la misma manera se realiza la distribución para los 02 baños que se encuentran en el departamento. A diferencia del sistema convencional, no se conecta el inodoro a la red de agua fría. Partiendo del ramal se distribuyen 02 sub-ramales que conectan con el lavatorio y ducha del departamento como se muestra en la *Figura N° 46*. Esta conexión pasa por una válvula esférica que permite el cierre completo de agua potable en caso se realice mantenimiento en el baño.

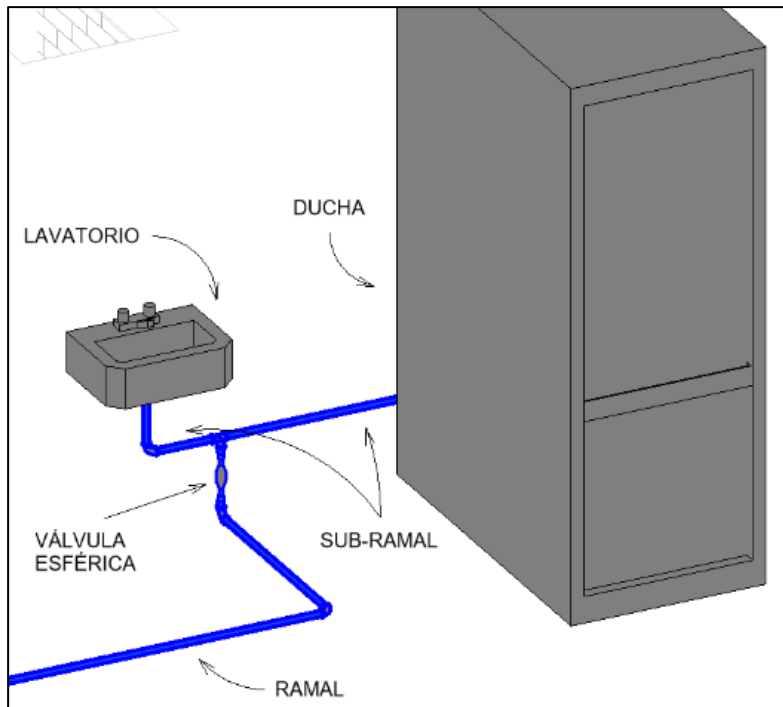


Figura N° 46: Distribución de agua fría potable en baño de departamento.

Fuente: Propia (Revit)

Todos los departamentos del edificio están contemplados para mantener básicamente el mismo esquema de diseño y distribución para una mayor facilidad constructiva salvo alguna excepción arquitectónica del departamento.

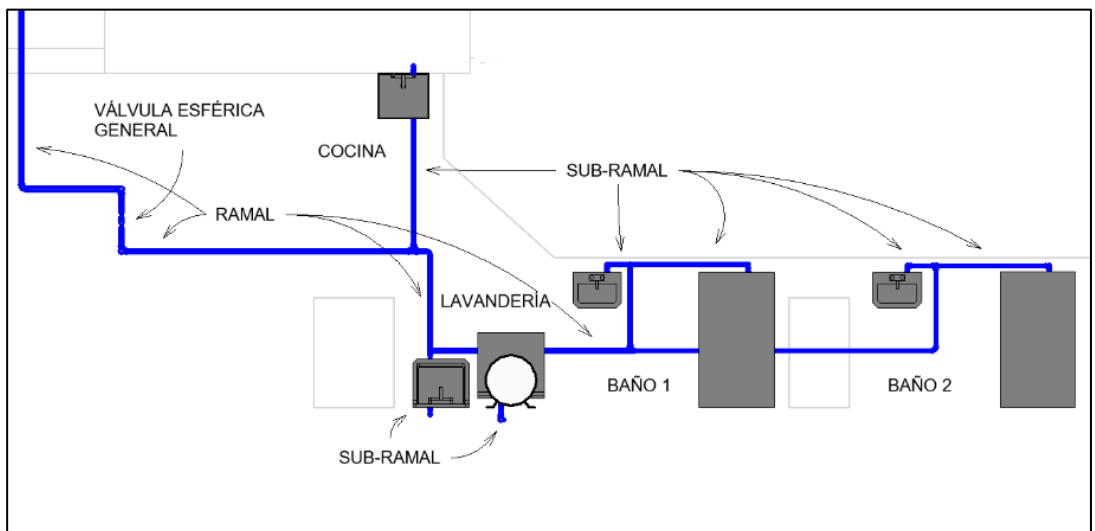


Figura N° 47: Distribución en planta de agua fría potable en departamento.

Fuente: Propia

La *Figura N° 47* muestra la distribución en planta del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

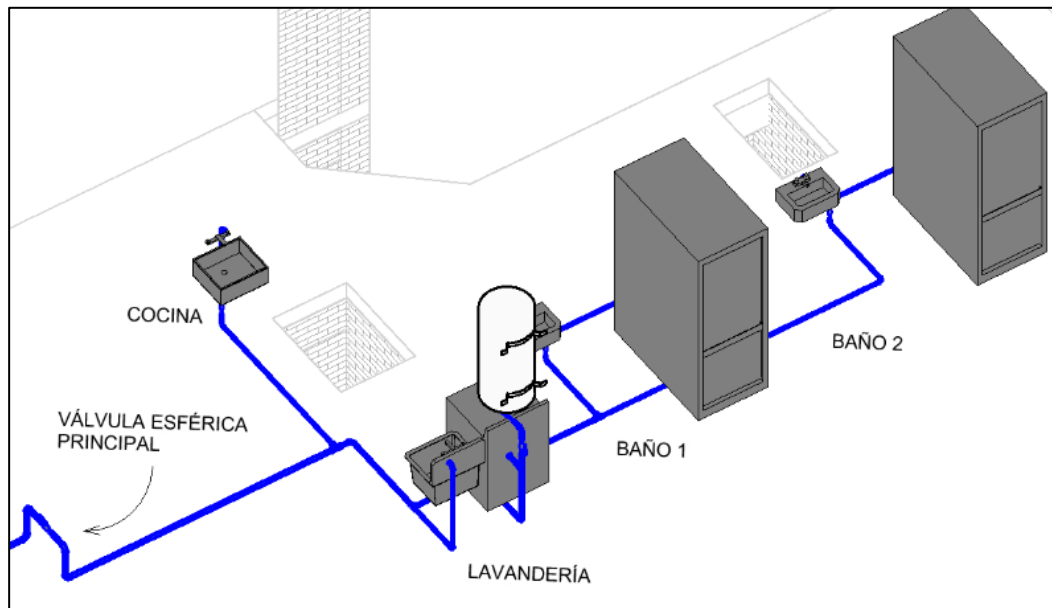


Figura N° 48: Isométrico de distribución de agua fría potable en departamento.

Fuente: Propia Revit

La *Figura N° 48* muestra la distribución en isométrico del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

4.4.7. Diseño de Red de Distribución de Agua Caliente

Se establece una Red de Agua Caliente que parte desde cada calentador del departamento y solo se distribuye dentro de él para el lavadero que se encuentra en la cocina, a la lavandería y los baños (lavatorio y ducha). Esta red tendrá como diseño el color rojo y es de material CPVC al igual que sus accesorios. Todo tipo de llaves serán de cobre.

En el ramal se instala una válvula esférica principal como se indica en la *Figura N° 49* para controlar las presiones y el flujo de agua caliente en caso la red requiera mantenimiento. Adicionalmente a eso, también se instala en cada una de

las áreas del departamento, válvulas esféricas controlando las presiones y flujos en los sub-ramales.

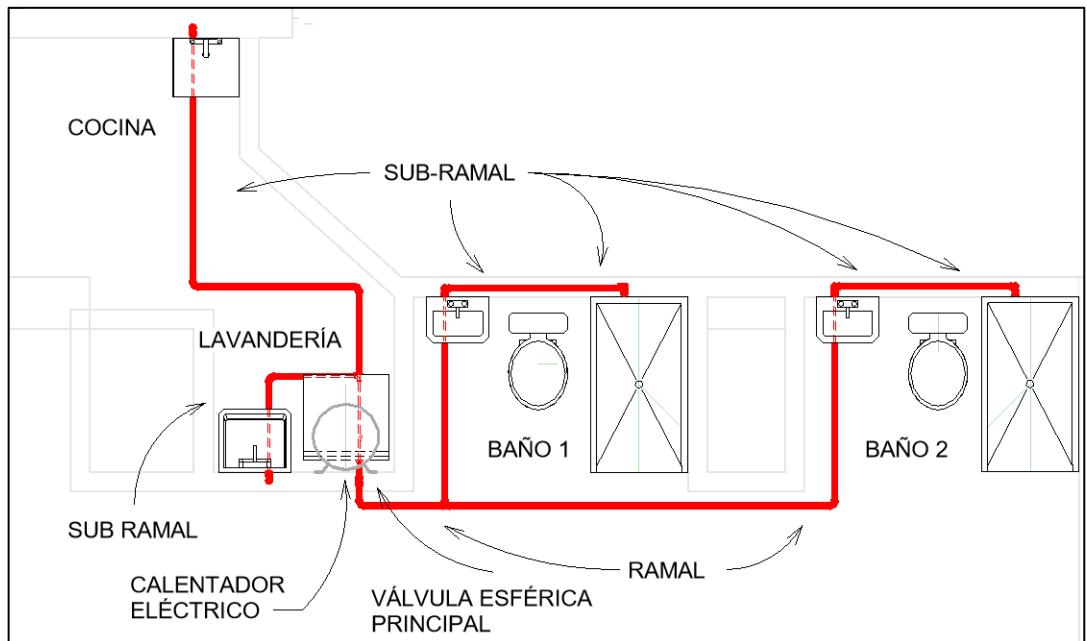


Figura N° 49: Distribución en planta de agua caliente en departamento.

Fuente: Propia Revit.

En el ramal se instala una válvula esférica principal como se indica en la *Figura N° 49* para controlar las presiones y el flujo de agua caliente en caso la red requiera mantenimiento. Adicionalmente a eso, también se instala en cada una de las áreas del departamento, válvulas esféricas controlando las presiones y flujos en los sub-ramales.

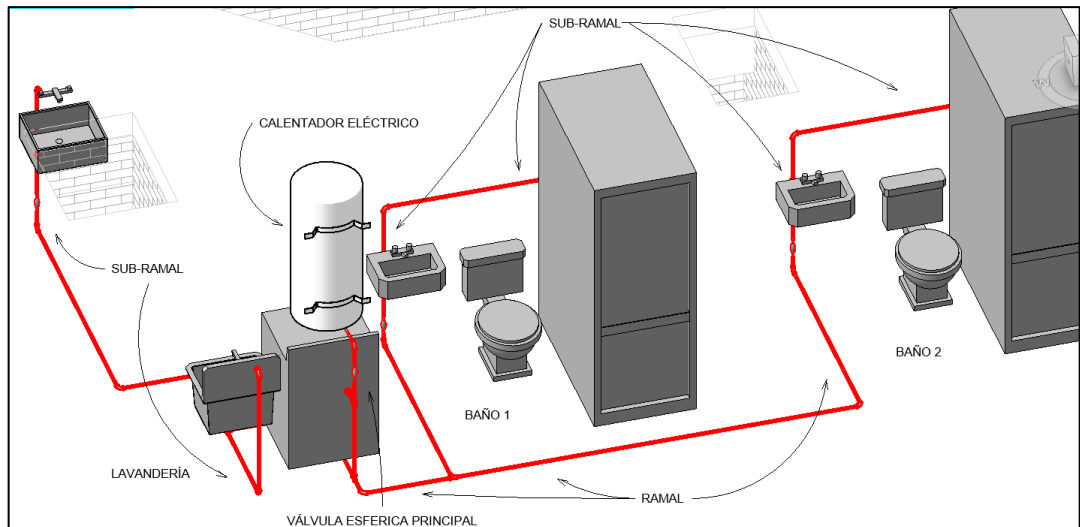


Figura N° 50: Isométrico de distribución de agua caliente en departamento.

Fuente: Propia Revit

La *Figura N° 50* muestra la distribución en isométrico del Esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

4.4.8. Diseño de Red de Distribución de Agua Tratada

Se establece un montante principal que se ubica en el centro del edificio desde el Tanque Elevado N ° 02 hasta los departamentos del primer nivel. En cada nivel de esta “Línea de Distribución” se ubica un gabinete en el área común con una toma en el montante para la distribución de agua potable a los departamentos tal como se muestra en la *Figura N° 51* como referencia. Toda la Red de Agua fría será de material PVC al igual que los accesorios. Todo tipo de válvulas serán de cobre.

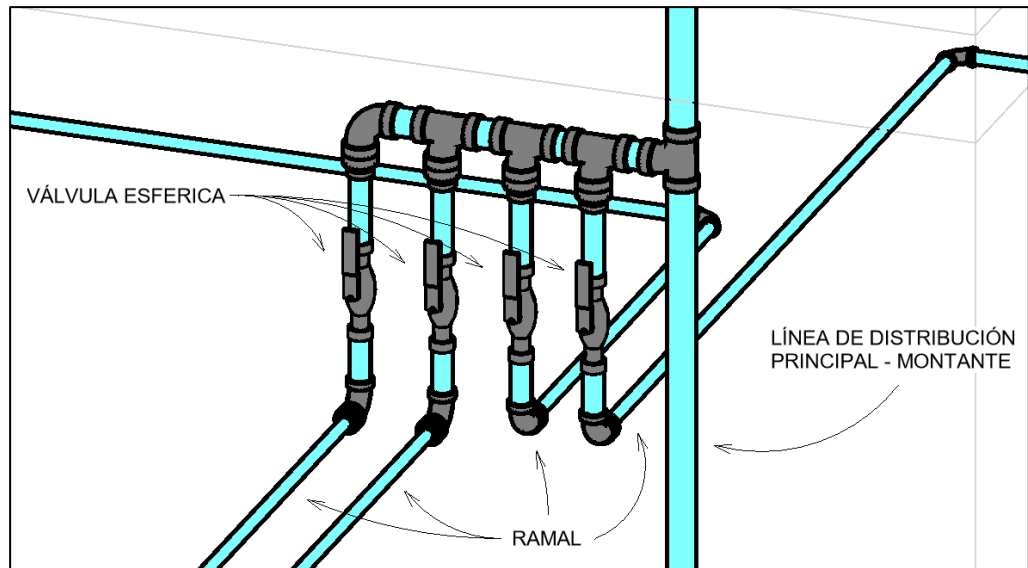


Figura N° 51: Gabinete de distribución de agua tratada.

Fuente: Propia (Revit)

En cada una de las tomas de agua se instala una válvula esférica para un control general del agua potable en los departamentos. Se sugiere que este gabinete donde se encuentran las válvulas solo sea usado por personal calificado para los mantenimientos preventivos del sistema hidráulico general del edificio. Cada una de las tomas apreciadas en la *Figura N° 51* trasladan el agua tratada a cada departamento para su distribución.

Se realiza la distribución solo para los 02 inodoros que se encuentran en el departamento. Partiendo del ramal se distribuyen 02 sub-ramales que conectan con los inodoros del departamento como se muestra en la *Figura N° 53*. Cada sub-ramal pasa por una válvula esférica que permite el cierre completo de agua potable en caso se realice mantenimiento del inodoro.

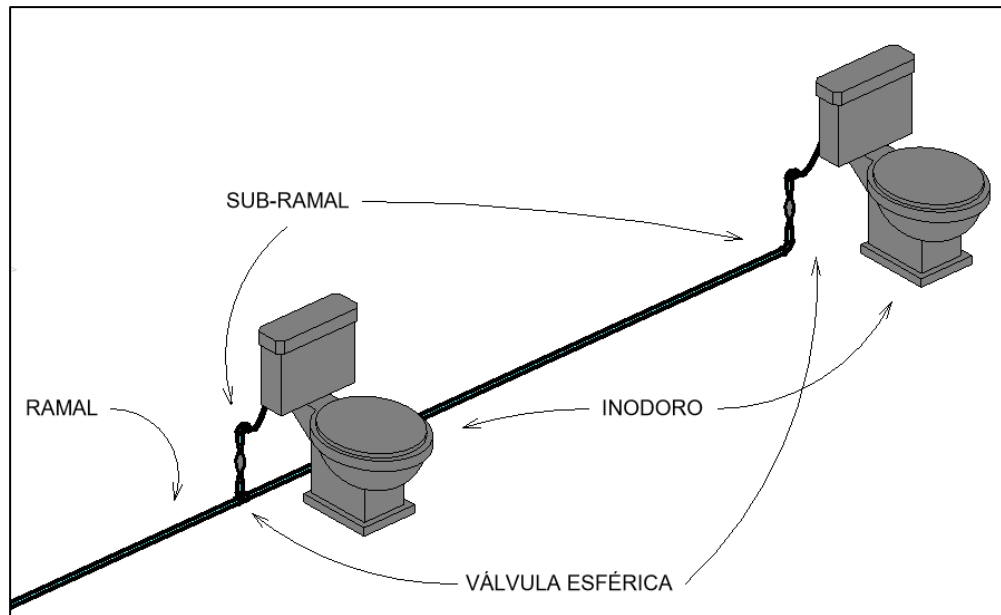


Figura N° 52: Distribución de agua tratada en departamento.

Fuente: Propia (Revit)

Todos los departamentos del edificio están contemplados para mantener básicamente el mismo esquema de diseño y distribución para una mayor facilidad constructiva salvo alguna excepción arquitectónica del departamento.

4.4.9. Diseño de Red de Recolección de Aguas Grises

La Red de Recolección de Aguas Grises comprende la recolección y traslado de las aguas grises de todos los departamentos hacia la Planta de Tratamiento que se ubica en el sótano del edificio.

En cada uno de los departamentos se instalan 3 montantes principales por donde se trasladan las aguas grises al colector principal. Estos montantes están ubicados estratégicamente cerca de los elementos sanitarios de cada área del departamento para que no requieran de mucha diferencia de cotas en pendiente a lo largo de su longitud.

Cada elemento sanitario cuenta con las trampas necesarias para evitar los malos olores y montantes específicamente ubicados para ventilación del desagüe.

Cabe resaltar que estas conexiones, por ser sanitarias los codos deben ser como máximo de 45° cuando los empalmes sean horizontales.

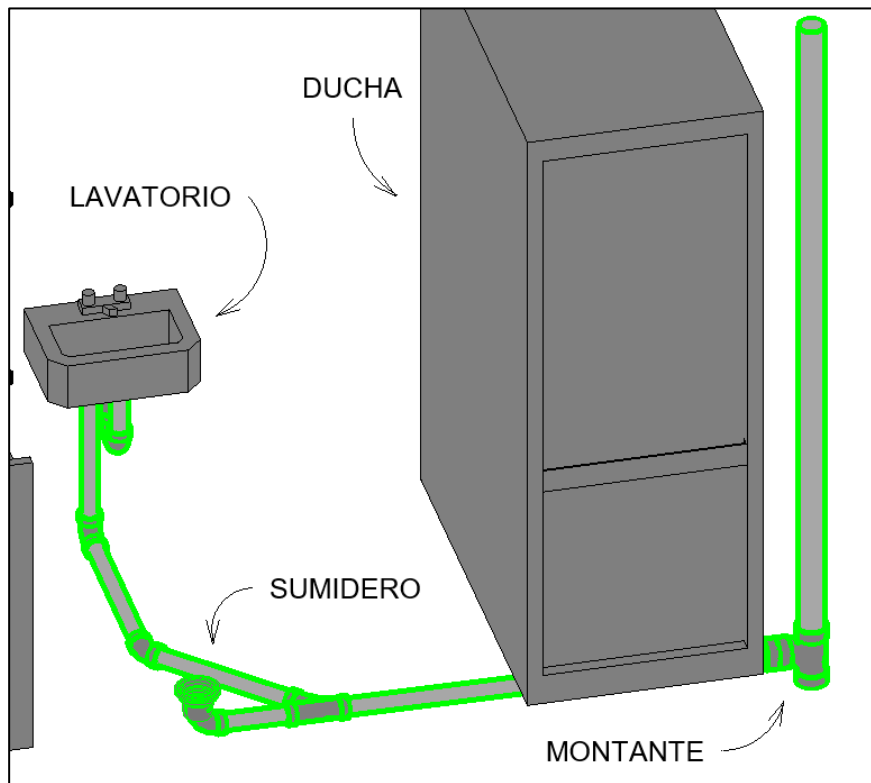


Figura N° 53: Captación de aguas grises en baño del departamento.

Fuente: Propia Revit

Cada baño tiene su propio montante de los cuales se conecta 01 lavatorio, 01 sumidero y 01 ducha.

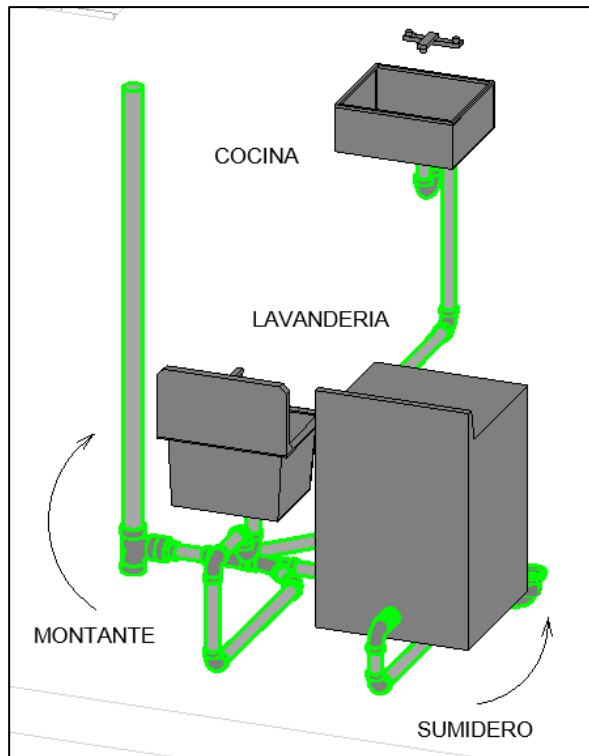


Figura N° 54: Captación de aguas grises en cocina y lavandería del departamento.

Fuente: Propia

Los aparatos sanitarios que se ubican en la zona de la cocina y lavandería se conectan a un montante diferente al de los baños. Como se aprecia en la *Figura N° 54*.

Para todos los niveles intermedios, el desagüe se conecta con el montante principal mediante una “Yee”.

La *Figura N° 55* muestra la distribución en planta del esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

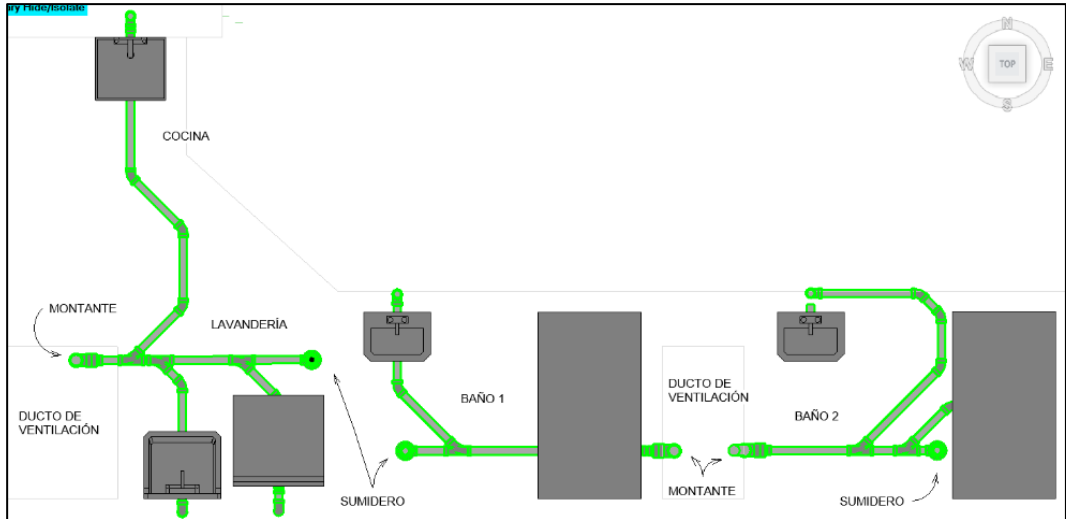


Figura N° 55: Captación en planta de aguas grises en departamento.

Fuente: Propia Revit

El edificio cuenta en total con 6 ductos de ventilación por donde se instalan los montantes y también las tuberías de ventilación del desagüe como se puede apreciar en la *Figura N° 56* del isométrico del edificio.

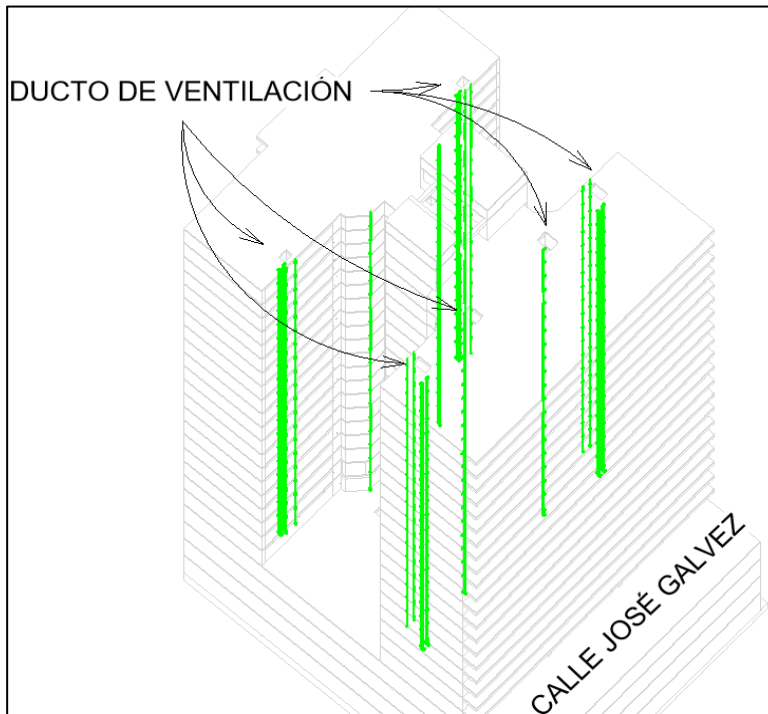


Figura N° 56: Montantes de captación de aguas grises en edificio.

Fuente: Propia Revit

Esta red cuenta con 12 montantes principales trasladan los desechos del colector principal del departamento hacia el colector principal del edificio que se encuentra bajo el nivel de vereda.

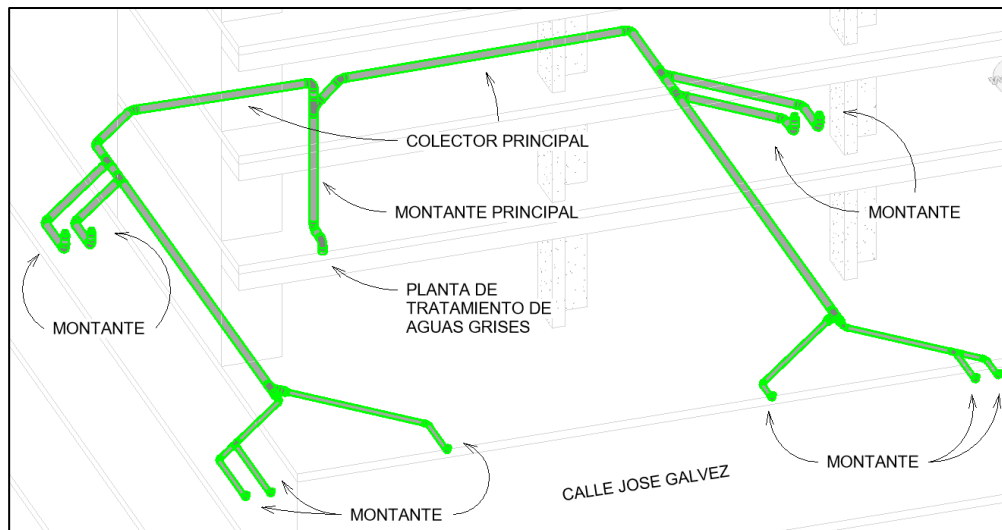


Figura N° 57: Colectores de aguas grises en edificio.

Fuente: Propia

En la *Figura N° 57* se detalla de manera esquemática las montantes que se conectan de manera gradual a los colectores principales y a la montante principal que expulsa las aguas grises en la planta de tratamiento. Este diseño no implica las instalaciones sanitarias que pueden existir en los sótanos del edificio ya que la red de desagüe solo trabaja por gravedad.

4.4.10. Diseño de Red de Recolección de Aguas Negras

La Red de Recolección de Aguas Negras comprende la recolección, traslado y eliminación de las aguas negras de todos los departamentos hacia el alcantarillado público que se encuentra ubicado en la Calle José Gálvez.

En cada uno de los departamentos se instalan 2 montantes principales por donde se trasladan las aguas negras al colector principal. Estos montantes están ubicados estratégicamente cerca de los elementos sanitarios de cada área del

departamento para que no requieran de mucha diferencia de cotas en pendiente a lo largo de su longitud.

Cada elemento sanitario cuenta con las trampas necesarias para evitar los malos olores y montantes específicamente ubicados para ventilación del desagüe. El edificio cuenta en total con 4 ductos de ventilación por donde se instalan los montantes y también las tuberías de ventilación del desagüe como se puede apreciar en la *Figura N° 58* del isométrico.

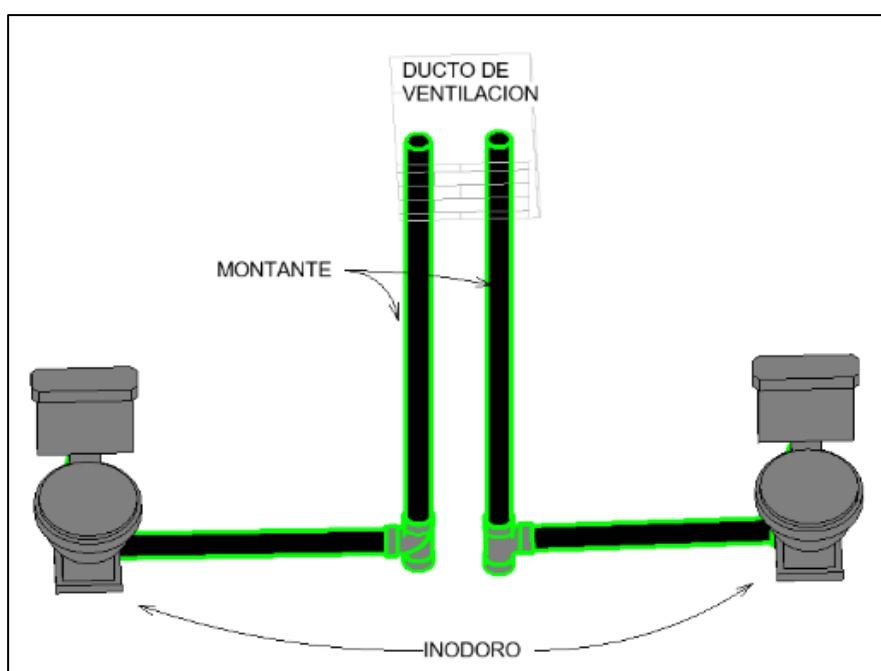


Figura N° 58: Captación de aguas negras en baños del departamento.

Fuente: Propia Revit

Para todos los niveles intermedios, el desagüe se conecta con el montante principal mediante una “Yee”.

La *Figura N° 59* muestra la distribución en planta del esquema de diseño para el departamento N°01 típico en todos los pisos del edificio.

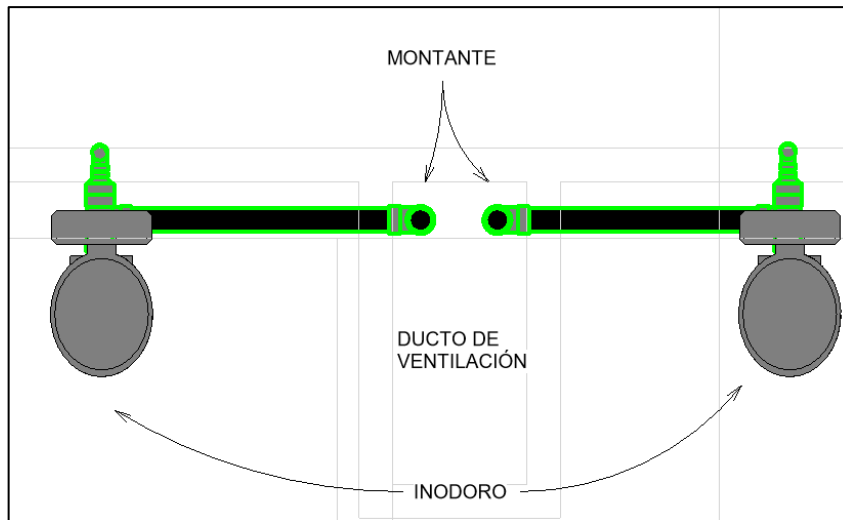


Figura N° 59: Captación en planta de aguas negras en departamento.

Fuente: Propia Revit

Esta red cuenta con 8 montantes principales trasladan los desechos del colector principal del departamento hacia el colector principal del edificio que se encuentra bajo el nivel de vereda.

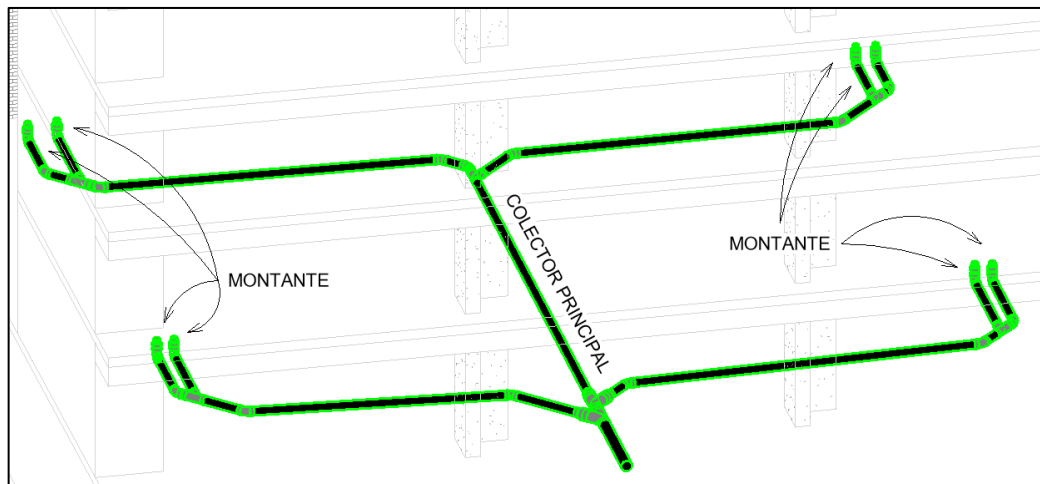


Figura N° 60: Red de colectores de aguas negras en edificio multifamiliar.

Fuente: Propia.

En la *Figura N° 60* se detalla de manera esquemática los 8 montantes que se conectan de manera gradual al colector principal del edificio. Este diseño no

implica las instalaciones sanitarias que pueden existir en los sótanos del edificio ya que la red de desagüe solo trabaja por gravedad.

4.4.11. Análisis Hidráulico de Presiones

La Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones especifica en su Anexo N°01 las unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de agua fría y caliente de distribución en los edificios según los aparatos sanitarios y las características de los mismos.

Tabla N° 30: Unidad de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución.

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque – descarga reducida.	1,5	1,5	-
Inodoro	Con tanque.	3	3	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática.	6	6	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	3	3	-
Bidé		1	0,75	0,75
Lavatorio		1	0,75	0,75
Lavadero		3	2	2
Ducha		2	1,5	1,5
Tina		2	1,5	1,5
Urinario	Con tanque	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática.	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	2,5	2,5	-
Urinario	Múltiple (por m)	3	3	-

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Para el caso del edificio en estudio se utiliza la segunda y tercera columna de Unidades de Gasto de la Tabla N° 30.

Cada departamento cuenta con 01 lavatorios, 02 lavaderos (se considera a la lavadora como un lavadero) y 02 duchas indicados en la Tabla N° 31 con su respectiva Unidad de Gasto.

Tabla N° 31: Unidades de gasto del departamento.

		APARATO SANITARIO	AGUA FRIA	AGUA CALIENTE
COCINA	LAVATORIO		0.75	0.75
	LAVADERO		2	2
LAVANDERIA	LAVADERO		2	2
	LAVADERO	LAVADORA	2	2
DEPARTAMENTO	BAÑO 1	DUCHA	1.5	1.5
		LAVATORIO	0.75	0.75
	BAÑO 2	DUCHA	1.5	1.5
		LAVATORIO	0.75	0.75
		SUBTOTAL	9.25	9.25
		TOTAL	18.5	

Fuente: Propia

Cada departamento se diseña con 18.5 Unidades de Gasto. El edificio cuenta con 80 departamentos por lo que tiene un total de 1960 Unidades de Gasto.

Para el caso de la Red de Agua Tratada cada departamento cuenta con 02 inodoros indicados en la Tabla N° 32 con su respectiva Unidad de Gasto.

Tabla N° 32: Unidades de gasto de agua tratada en departamento.

			AGUA FRIA	
DEPARTAMENTO	BAÑO 1	INODORO	TANQUE	3
	BAÑO 2	INODORO	TANQUE	3
			SUBTOTAL	6

Fuente: Propia

Se diseña con 6 Unidades de Gasto. El edificio cuenta con 80 departamentos por lo que tiene un total de 480 Unidades de Gasto.

La Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones en su Anexo N°03 indica los gastos probables para la aplicación del Método de Hunter donde, según la cantidad de Unidades de Gastos del diseño tiene un equivalente en caudal que se debe considerar para el diseño del diámetro de la tubería. La Tabla N° 33 nos indica estos caudales denominados gastos:

Tabla N° 33: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter.

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

PARA EL
NUMERO DE
UNIDADES DE
ESTA
COLUMNA ES
INDIFERENTE
QUE LOS
APARATOS
SEAN DE
TANQUE O DE
VALVULA

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

No se encuentra el gasto probable para **1480 Unidades de Gasto** por lo que se requiere de una interpolación que da como resultado **9.83 litros/segundo**. Este caudal es obtenido de la tubería matriz del Servicio Público que es dirigido por la Línea Alimentadora a la cisterna y luego por Línea de Impulsión al Tanque Elevado N°01.

Los gastos probables se distribuyen de manera uniforme según se requiere a cada uno de los niveles del edificio desde el Tanque Elevado N°01 hasta el primer nivel tal como indica la Tabla N° 34.

Tabla N° 34: Gastos probables de agua potable por piso.

GASTOS PROBABLES POR PISO			
PISO	N° DEPARTAMENTOS ACUMULADOS	N° UNIDAD DE GASTO ACUMULADOS	GASTO PROBABLE (L/S)
20	80	1480	9.83
19	76	1406	9.34
18	72	1332	8.85
17	68	1258	8.36
16	64	1184	7.87
15	60	1110	7.37
14	56	1036	6.88
13	52	962	6.39
12	48	888	5.90
11	44	814	5.41
10	40	740	4.92
9	36	666	4.42
8	32	592	3.93
7	28	518	3.44
6	24	444	2.95
5	20	370	2.46
4	16	296	1.97
3	12	222	1.47
2	8	148	0.98
1	4	74	0.49

Fuente: Propia

La cuarta columna nos indica el caudal mínimo que debe trasladar Agua Potable en el montante principal esquematizado en la *Figura N° 51* desde el nivel 20 hasta el primer nivel.

Para la Red de Agua Tratada el gasto probable para **480 Unidades de Gasto** da como resultado **4.57 litros/segundo**. Este caudal es obtenido de la Planta de Tratamiento y es dirigido por la Línea de Impulsión de Agua Tratada al Tanque Elevado N°02.

Los gastos probables se distribuyen de manera uniforme según se requiere a cada uno de los niveles del edificio desde el Tanque Elevado N°02 hasta el primer nivel tal como indica la Tabla N° 35.

Tabla N° 35: Gastos probables de agua tratada por piso.

GASTOS PROBABLES POR PISO			
PISO	N° DEPARTAMENTOS ACUMULADOS	N° UNIDAD DE GASTO ACUMULADOS	GASTO PROBABLE (L/S)
20	80	480	4.57
19	76	456	4.34
18	72	432	4.11
17	68	408	3.88
16	64	384	3.66
15	60	360	3.43
14	56	336	3.20
13	52	312	2.97
12	48	288	2.74
11	44	264	2.51
10	40	240	2.29
9	36	216	2.06
8	32	192	1.83
7	28	168	1.60
6	24	144	1.37
5	20	120	1.14
4	16	96	0.91
3	12	72	0.69
2	8	48	0.46
1	4	24	0.23

Fuente: Propia

La cuarta columna nos indica el caudal mínimo que debe trasladar Agua Tratada el montante principal esquematizado en la Figura N° 43 desde el nivel 20 hasta el primer nivel.

Elaborado el diseño previo en la fase anterior podemos obtener todas las longitudes de las tuberías por tramo. Cada tramo es un segmento de la tubería

entre dos puntos. Cada punto se ubica donde se encuentre un codo, una tee, una toma de agua o donde se requiera saber cuánto es la presión de agua en el lugar.

Los caudales se obtienen de la misma manera como los gastos probables por piso, mostrado en la Tabla N° 36 para agua potable y la Tabla N° 37 para agua tratada. El caudal de los sub-ramales y ramales son la sumatoria de caudales que debe distribuir en la tubería.

Tabla N° 36: Gastos probables de agua potable en departamento.

		APARATO SANITARIO		GASTO (L/S)	
DEPARTAMENTO	COCINA	LAVATORIO		0.005	
	LAVANDERIA	LAVADERO		0.013	
		LAVADERO	LAVADORA	0.013	
	BAÑO 1	DUCHA		0.010	
		LAVATORIO		0.005	
	BAÑO 2	DUCHA		0.010	
		LAVATORIO		0.005	
	CALENTADOOR ELECTRICO				0.061

Fuente: Propia

Tabla N° 37: Gastos probables de agua tratada en departamento.

		APARATO SANITARIO		GASTO (L/S)
DEPARTAMENTO	BAÑO 1	INODORO	TANQUE	4
	BAÑO 2	INODORO	TANQUE	4

Fuente: Propia

Según la ecuación (60) de Hazen-Williams y las propiedades de la tubería de PVC y CPVC descritas se elabora la Tabla N° 38 donde se indica caudales máximos para cada diámetro de tubería comercial.

Tabla N° 38: Caudales máximos en diámetros de tuberías comerciales.

diámetro comercial	caudal máximo (l/s)
1/2"	0.212
3/4"	0.548
1"	1.087
1 1/4"	2.013
1 1/2"	3.25
2"	6.93
3"	20.15

Fuente: Propia

Las velocidades son obtenidas de la ecuación (38) donde la Velocidad es igual al caudal de diseño entre el área de la tubería propuesta para cada caso.

Se debe de considerar los accesorios o válvulas que están conectados a las tuberías ya que esto genera una pérdida de carga local según el diámetro y características del accesorio instalado. Estos valores son obtenidos de la Tabla N° 39 donde se seleccionan los accesorios que se plantean en el diseño previo.

Tabla N° 39: Valores de coeficiente "K" para accesorios.

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
		Valores de K												
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

Fuente: Adaptación de Cameron Hydraulic data.

Estos valores de K son reemplazados en la ecuación ya mencionados en el punto 4.3.6 del Diseño Hidráulico Convencional al igual que el cálculo de presiones en cada punto del sistema.

La línea de presión de para agua caliente se realiza de la misma manera sabiendo la presión con la que llega el agua fría al calentador eléctrico para luego distribuir según diseño hacia los puntos de toma de agua.

Para obtener los diámetros necesarios en la Red de Desagüe existen propuestas que nos brinda la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones según especifica en su Anexo N°06 en la Tabla N° 40 las unidades de descarga según los aparatos sanitarios y las características de los mismos.

Tabla N° 40: Unidades de descarga.

Tipos de aparatos	Diámetro mínimo de la trampa(mm)	Unidades de descarga
Inodoro (con tanque).	75 (3")	4
Inodoro (con tanque descarga reducida).	75 (3")	2
Inodoro (con válvula automática y semiautomática).	75 (3")	8
Inodoro (con válvula automática y semiautomática de descarga reducida).	75 (3")	4
Bidé.	40 (1 ½")	3
Lavatorio.	32 - 40 (1 ¼" - 1 ½")	1 - 2
Lavadero de cocina.	50 (2")	2
Lavadero con trituradora de desperdicios.	50 (2")	3
Lavadero de ropa.	40 (1 ½")	2
Ducha privada.	50 (2")	2
Ducha pública.	50 (2")	3
Tina.	40 - 50 (1 1/2" - 2")	2 - 3
Urinario de pared.	40 (1 ½")	4
Urinario de válvula automática y semiautomática.	75 (3")	8
Urinario de válvula automática y semiautomática de descarga reducida.	75 (3")	4
Urinario corrido.	75 (3")	4
Bebedero.	25 (1")	1 - 2
Sumidero	50 (2")	2

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Para la recolección de Aguas grises, cada departamento cuenta con 01 lavatorio, 02 lavaderos (se considera a la lavadora como un lavadero) y 02 duchas indicados en la Tabla N° 41 con su respectiva Unidad de Descarga.

Tabla N° 41: Unidades de descarga de aguas grises en departamento.

DEPARTAMENTO	APARATO SANITARIO		UNIDAD DE DESCARGA
	COCINA	LAVATORIO	
LAVANDERIA	LAVADERO		2
	LAVADERO	LAVADORA	2
BAÑO 1	DUCHA		2
	LAVATORIO		2
BAÑO 2	DUCHA		2
	LAVATORIO		2

Fuente: Propia

Para la recolección de Aguas Negras, cada departamento cuenta con 02 inodoros, indicados en la Tabla N° 42 con su respectiva Unidad de Descarga.

Tabla N° 42: Unidades de descarga de aguas negras en departamento.

DEPARTAMENTO		APARATO SANITARIO		UNIDAD DE DESCARGA
		BAÑO 1	INODORO	TANQUE
BAÑO 2	INODORO	TANQUE	4	

Fuente: Propia

En el diseño para la recolección de Aguas Grises se plantea 03 montantes por departamento, una para cada baño y una para el área de cocina y lavandería. Para el diseño de la recolección de Aguas Negras se plantea 02 montantes por departamento, una para cada baño.

Estos montantes deben mantener el número máximo de unidades de descarga que pueden ser conectados a los conductos horizontales de desagüe y a los montantes según la cantidad de pisos que requiere el diseño.

Tabla N° 43: Número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado a los montantes.

Diámetro del tubo(mm)	Cualquier horizontal de desagüe (")	Montantes de 3 pisos de altura	Montantes de más de 3 pisos	
			Total en la montante	Total por Piso
32 (1 ¼")	1	2	2	1
40 (1 ½")	3	4	8	2
50 (2")	6	10	24	6
65 (2 ½")	12	20	42	9
75 (3")	20	30	60	16
100 (4")	160	240	500	90
125 (5")	360	540	1100	200
150 (6")	620	960	1900	350
200 (8")	1400	2200	3600	600
250 (10")	2500	3800	5660	1000
300 (12")	3900	6000	8400	1500
375 (15")	7000	-	-	-

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Los diámetros obtenidos de la Tabla N° 43 se conectan a los colectores que se encuentran en el primer nivel del edificio. Estos diámetros de los conectores se diseñan con el número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado según la Tabla N° 44.

Tabla N° 44: Número máximo de unidades de descarga que puede ser conectado a colectores.

Diámetro del tubo(mm)	Pendiente		
	1%	2%	4%
50 (2")	-	21	26
65 (2 ½")	-	24	31
75 (3")	20	27	36
100 (4")	180	216	250
125 (5")	390	480	575
150 (6")	700	840	1000
200 (8")	1600	1920	2300
250 (10")	2900	3500	4200
300 (12")	4600	5600	6700
375 (15")	8300	10000	12000

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones

Estos colectores se unen según diseño y se descargan en la Planta de Tratamiento o Red de Alcantarillado Público en la Calle José Gálvez frente al edificio según sea el caso de la Red.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis y resultados de Diseño Hidráulico

5.1.1. Diámetros y presiones en Sistema Convencional

Según la evaluación y procedimiento seguido en el Ítem 4.3.6. Obtenemos los diámetros para cada Línea y Red que se plantea en el diseño. La Tabla N° 45 nos indica los diámetros a utilizar en la instalación del sistema hidráulico convencional.

Tabla N° 45: Diámetros para líneas y redes de diseño.

TIPO	DIAMETRO (pulg)
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	3
LÍNEA DE SUCCIÓN	3
LÍNEA DE IMPULSIÓN	3
LÍNEA DE DISTRIBUCION AGUA FRIA	3"-2"-1"-3/4"-1/2"
LÍNEA DE DISTRIBUCION AGUA CALIENTE	1/2"

Fuente: Propia

Estos diámetros se aprecian de manera esquemática en los planos de planta de cada nivel del edificio. Anexo N° 5.

Las presiones en cada toma de agua para los elementos sanitarios están detalladas en la Tabla N° 46 según el nivel que se encuentra. Dependiendo del elemento sanitario se conecta con Agua Fría (AF) o Agua Caliente (AC).

Tabla N° 46: Presiones en elementos sanitarios en sistema hidráulico convencional.

PISO	COCINA				LAVANDERIA				BAÑO 1				BAÑO 2							
	LAVATORIO		LAVADERO		LAVADORA		CALENTADOR		LAVATORIO		INODORO		DUCHA		LAVATORIO		INODORO		DUCHA	
	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC
20	5.85	5.14	5.81	5.15	5.79	5.33	5.09	5.09	5.78	5.27	5.46	5.46	5.46	5.08	5.32	5.15	5.33	5.08	5.03	
19	7.31	6.59	7.27	6.61	7.25	6.78	6.54	6.54	7.23	6.72	6.91	6.91	6.91	6.53	6.78	6.60	6.78	6.53	6.49	
18	8.76	8.05	8.72	8.06	8.70	8.24	8.00	8.00	8.69	8.17	8.37	8.37	8.37	7.99	8.23	8.06	8.24	7.99	7.94	
17	10.22	9.50	10.18	9.52	10.16	9.69	9.45	9.45	10.14	9.63	9.82	9.82	9.82	9.44	9.69	9.51	9.69	9.44	9.40	
16	11.67	10.96	11.63	10.97	11.61	11.15	10.91	10.91	11.60	11.08	11.27	11.27	11.27	10.90	11.14	10.96	11.14	10.89	10.85	
15	13.13	12.41	13.08	12.43	13.07	12.60	12.36	12.36	13.05	12.54	12.73	12.73	12.73	12.35	12.60	12.42	12.60	12.35	12.31	
14	14.58	13.86	14.54	13.88	14.52	14.06	13.82	13.82	14.51	13.99	14.18	14.18	14.18	13.81	14.05	13.87	14.05	13.80	13.76	
13	16.04	15.32	15.99	15.34	15.98	15.51	15.27	15.27	15.96	15.45	15.64	15.64	15.64	15.26	15.51	15.33	15.51	15.26	15.21	
12	17.49	16.77	17.45	16.79	17.43	16.97	16.73	16.73	17.42	16.90	17.09	17.09	17.09	16.72	16.96	16.78	16.96	16.71	16.67	
11	18.94	18.23	18.90	18.24	18.89	18.42	18.18	18.18	18.87	18.36	18.55	18.55	18.55	18.17	18.42	18.24	18.42	18.17	18.12	
10	20.40	19.68	20.36	19.70	20.34	19.88	19.64	19.64	20.33	19.81	20.00	20.00	20.00	19.62	19.87	19.69	19.87	19.62	19.58	
9	21.85	21.14	21.81	21.15	21.79	21.33	21.09	21.09	21.78	21.27	21.46	21.46	21.46	21.08	21.32	21.15	21.33	21.08	21.03	
8	23.31	22.59	23.27	22.61	23.25	22.78	22.54	22.54	23.24	22.72	22.91	22.91	22.91	22.53	22.78	22.60	22.78	22.53	22.49	
7	24.76	24.05	24.72	24.06	24.70	24.24	24.00	24.00	24.69	24.18	24.37	24.37	24.37	23.99	24.23	24.06	24.24	23.99	23.94	
6	26.22	25.50	26.18	25.52	26.16	25.69	25.45	25.45	26.14	25.63	25.82	25.82	25.82	25.44	25.69	25.51	25.69	25.44	25.40	
5	27.67	26.96	27.63	26.97	27.61	27.15	26.91	26.91	27.60	27.08	27.28	27.28	27.28	26.90	27.14	26.97	27.15	26.90	26.85	
4	29.13	28.41	29.09	28.43	29.07	28.60	28.36	28.36	29.05	28.54	28.73	28.73	28.73	28.35	28.60	28.42	28.60	28.35	28.31	
3	30.58	29.87	30.54	29.88	30.52	30.06	29.82	29.82	30.51	29.99	30.19	30.19	30.19	29.81	30.05	29.87	30.05	29.80	29.76	
2	32.04	31.32	32.00	31.34	31.98	31.51	31.27	31.27	31.96	31.45	31.64	31.64	31.64	31.26	31.51	31.33	31.51	31.26	31.22	
1	33.49	32.77	33.45	32.79	33.43	32.97	32.73	32.73	33.42	32.90	33.09	33.09	33.09	32.72	32.96	32.78	32.96	32.71	32.67	

Fuente: propia.

La Tabla N° 46 indica las presiones promedio que hay en los elementos sanitarios, recordando que hay 4 departamentos por piso en el edificio. Estas presiones cumplen con las mínimas requerida por la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones.

5.2. Diámetros y presiones en el Sistema Hidráulico con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises en Edificio Multifamiliar

Según la evaluación y procedimiento seguido en el Ítem 4.4.7. Obtenemos los diámetros para cada Línea y Red que se plantea en el diseño. La Tabla N° 47 nos indica los diámetros a utilizar en la instalación del sistema hidráulico para agua potable y agua gris.

Tabla N° 47: Diámetros para líneas y redes con sistema de reciclaje de aguas grises.

TIPO	DIAMETRO (pulg)
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA POTABLE	3"
LÍNEA DE SUCCIÓN DE AGUA POTABLE	3"
LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA POTABLE	3"
LÍNEA DE DISTRIBUCION AGUA FRIA POTABLE	3"-2"-1"-3/4"-1/2"
LÍNEA DE DISTRIBUCION AGUA CALIENTE POTABLE	1/2"
LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA TRATADA	2"
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA TRATADA	2"-1/2"

Fuente: Propia

Estos diámetros se aprecian de manera esquemática en los planos de planta de cada nivel del edificio. Anexo N° 8.

Las presiones en cada toma de agua para los elementos sanitarios están detalladas en la Tabla N° 48 según el nivel que se encuentra. Dependiendo del elemento sanitario se conecta con Agua Fría (AF), Agua Caliente (AC) o Agua Tratada (AT).

Tabla N° 48: Presiones en elementos sanitarios con sistema de reciclaje de aguas grises.

PISO	COCINA						LAVANDERIA						BAÑO 1						BAÑO 2											
	LAVATORIO			LAVADERO			LAVADORA			CALENTADOR			LAVATORIO			INODORO			DUCHA			LAVATORIO			INODORO			DUCHA		
	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC	AF	AC		
20	5.28	5.17	5.28	5.14	5.81	5.41	5.32	5.31	5.80	5.56	5.09	5.74	5.88	5.04	5.24	5.18	5.74	5.88	5.04	5.24	5.18	5.74	5.88	5.04	5.24	5.18	5.74	5.88	5.04	
19	7.28	7.17	7.28	7.14	7.82	7.41	7.32	7.31	7.90	7.56	7.09	7.83	7.04	7.24	7.18	7.83	7.04	7.24	7.18	7.83	7.04	7.24	7.18	7.83	7.04	7.24	7.18	7.83	7.04	
18	9.28	9.17	9.28	9.14	9.82	9.41	9.32	9.31	9.99	9.56	9.09	9.93	9.04	9.24	9.19	9.93	9.04	9.24	9.19	9.93	9.04	9.24	9.19	9.93	9.04	9.24	9.19	9.93	9.04	
17	11.28	11.17	11.28	11.15	11.82	11.41	11.32	11.32	12.08	11.56	11.10	12.02	11.05	11.24	11.19	12.02	11.05	11.24	11.19	12.02	11.05	11.24	11.19	12.02	11.05	11.24	11.19	12.02	11.05	
16	13.28	13.17	13.28	13.15	13.82	13.41	13.33	13.32	14.17	13.56	13.10	14.11	13.05	13.28	13.19	14.11	13.05	13.28	13.19	14.11	13.05	13.28	13.19	14.11	13.05	13.28	13.19	14.11	13.05	
15	15.28	15.18	15.28	15.15	15.82	15.42	15.33	15.32	16.27	15.56	15.10	16.20	15.05	15.28	15.19	16.20	15.05	15.28	15.19	16.20	15.05	15.28	15.19	16.20	15.05	15.28	15.19	16.20	15.05	
14	17.28	17.18	17.28	17.15	17.82	17.42	17.33	17.32	18.36	17.56	17.10	18.30	17.05	17.28	17.19	18.30	17.05	17.28	17.19	18.30	17.05	17.28	17.19	18.30	17.05	17.28	17.19	18.30	17.05	
13	19.29	19.18	19.29	19.15	19.82	19.42	19.33	19.32	20.45	19.56	19.10	20.39	19.05	19.29	19.19	20.39	19.05	19.29	19.19	20.39	19.05	19.29	19.19	20.39	19.05	19.29	19.19	20.39	19.05	
12	21.29	21.18	21.29	21.15	21.82	21.42	21.33	21.32	22.54	21.56	21.10	22.48	21.05	21.29	21.19	22.48	21.05	21.29	21.19	22.48	21.05	21.29	21.19	22.48	21.05	21.29	21.19	22.48	21.05	
11	23.29	23.18	23.29	23.15	23.82	23.42	23.33	23.32	24.64	23.57	23.10	24.57	23.05	23.29	23.19	24.57	23.05	23.29	23.19	24.57	23.05	23.29	23.19	24.57	23.05	23.29	23.19	24.57	23.05	
10	25.29	25.18	25.29	25.15	25.83	25.42	25.33	25.32	26.73	25.57	25.10	26.67	25.05	25.29	25.19	26.67	25.05	25.29	25.19	26.67	25.05	25.29	25.19	26.67	25.05	25.29	25.19	26.67	25.05	
9	27.29	27.18	27.29	27.15	27.83	27.42	27.33	27.32	28.82	27.57	27.10	28.76	27.05	27.29	27.19	28.76	27.05	27.29	27.19	28.76	27.05	27.29	27.19	28.76	27.05	27.29	27.19	28.76	27.05	
8	29.29	29.18	29.29	29.15	29.83	29.42	29.33	29.32	30.91	29.57	29.10	30.85	29.05	29.29	29.19	30.85	29.05	29.29	29.19	30.85	29.05	29.29	29.19	30.85	29.05	29.29	29.19	30.85	29.05	
7	31.29	31.18	31.29	31.16	31.83	31.42	31.33	31.33	33.01	31.57	31.11	32.94	31.06	31.29	31.19	32.94	31.06	31.29	31.19	32.94	31.06	31.29	31.19	32.94	31.06	31.29	31.19	32.94	31.06	
6	33.29	33.18	33.29	33.16	33.83	33.42	33.34	33.33	35.10	33.57	33.11	35.04	33.06	33.29	33.19	35.04	33.06	33.29	33.19	35.04	33.06	33.29	33.19	35.04	33.06	33.29	33.19	35.04	33.06	
5	35.29	35.19	35.29	35.16	35.83	35.43	35.34	35.33	37.19	35.57	35.11	37.13	35.06	35.29	35.19	37.13	35.06	35.29	35.19	37.13	35.06	35.29	35.19	37.13	35.06	35.29	35.19	37.13	35.06	
4	37.29	37.19	37.29	37.16	37.83	37.43	37.34	37.33	39.29	37.57	37.11	39.22	37.06	37.29	37.19	39.22	37.06	37.29	37.19	39.22	37.06	37.29	37.19	39.22	37.06	37.29	37.19	39.22	37.06	
3	39.30	39.19	39.30	39.16	39.83	39.43	39.34	39.33	41.38	39.57	39.11	41.31	39.06	39.30	39.20	41.31	39.06	39.30	39.20	41.31	39.06	39.30	39.20	41.31	39.06	39.30	39.20	41.31	39.06	
2	41.30	41.19	41.30	41.16	41.83	41.43	41.34	41.33	43.47	41.57	41.11	43.41	41.06	41.30	41.20	43.41	41.06	41.30	41.20	43.41	41.06	41.30	41.20	43.41	41.06	41.30	41.20	43.41	41.06	
1	43.30	43.19	43.30	43.16	43.83	43.43	43.34	43.33	45.56	43.58	43.11	45.50	43.06	43.30	43.20	45.50	43.06	43.30	43.20	45.50	43.06	43.30	43.20	45.50	43.06	43.30	43.20	45.50	43.06	

Fuente: propia

La Tabla N° 48 indica las presiones promedio que hay en los elementos sanitarios, recordando que hay 4 departamentos por piso en el edificio. Estas presiones cumplen con las mínimas requerida por la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones.

5.3. Análisis de costos de Sistema Convencional

Al realizar el diseño en el software Revit tenemos la facilidad de obtener los metrados de manera automática de tuberías y accesorios que se instalan en este sistema. La Tabla N° 49 para las tuberías y Tabla N° 50 para los accesorios indica la cantidad el metrado y características según la clase de los elementos importados de Revit.

Tabla N° 49: Metrado de tuberías para sistema convencional.

CLASE	DIAMETRO (pulg)	LONGITUD (m)
PVC AGUA CALIENTE	1/2	1402.29
PVC AGUA FRIA	1/2	934.88
PVC AGUA FRIA	3/4	506.41
PVC AGUA FRIA	1	891.70
PVC AGUA FRIA	2	397.36
PVC AGUA FRIA	3	213.58
PVC AGUA NEGRA	2	1571.23
PVC AGUA NEGRA	3	141.91
PVC AGUA NEGRA	4	507.08
PVC AGUA NEGRA	6	37.97
PVC AGUA NEGRA	8	11.85

Fuente: propia

Tabla N° 50: Metrado de accesorios para sistema convencional.

CLASE	DIAMETRO	UNIDADES	MATERIAL
M_Codo - PVC	3"Ø-3"Ø	17	PVC
M_Codo - PVC	2"Ø-2"Ø	21	PVC
M_Codo - PVC	1"Ø-1"Ø	562	PVC
M_Codo - PVC	3/4"Ø-3/4"Ø	246	PVC
M_Codo - PVC	1/2"Ø-1/2"Ø	1360	PVC
M_Codo - CPVC	1/2"Ø-1/2"Ø	1208	CPVC
M_Tee_PVC	3"Ø-3"Ø-3"Ø	12	PVC
M_Tee_PVC	2"Ø-2"Ø-2"Ø	9	PVC
M_Tee_PVC	1"Ø-1"Ø-1"Ø	80	PVC
M_Tee_PVC	3/4"Ø-3/4"Ø-3/4"Ø	320	PVC
M_Tee_PVC	1/2"Ø-1/2"Ø-1/2"Ø	480	PVC
M_Tee_CPVC	1/2"Ø-1/2"Ø-1/2"Ø	400	CPVC
M_Reductor_PVC	3"Ø-2"Ø	12	PVC
M_Reductor_PVC	2"Ø-1"Ø	9	PVC
M_Reductor_PVC	1"Ø-3/4"Ø	80	PVC
M_Reductor_PVC	3/4"Ø-1/2"Ø	320	PVC
M_Válvula esférica - BRONCE	3"Ø-3"Ø	4	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	2"Ø-2"Ø	4	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	1"Ø-1"Ø	160	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	3/4"Ø-3/4"Ø	80	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	1/2"Ø-1/2"Ø	480	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	3"Ø-3"Ø	2	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	2"Ø-2"Ø	2	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	1"Ø-1"Ø	160	BRONCE
M_Adaptador U_PVC	3"Ø-3"Ø	12	PVC
M_Adaptador U_PVC	2"Ø-2"Ø	12	PVC
M_Adaptador U_PVC	1"Ø-1"Ø	640	PVC
M_Adaptador U_PVC	3/4"Ø-3/4"Ø	160	PVC
M_Adaptador U_PVC	1/2"Ø-1/2"Ø	960	PVC
M_Adaptador U_CPVC	1/2"Ø-1/2"Ø	160	CPVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	6"Ø-6"Ø	12	PVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	4"Ø-4"Ø	480	PVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	2"Ø-2"Ø	1600	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	6"Ø-6"Ø	14	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	4"Ø-4"Ø	616	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	3"Ø-3"Ø	354	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	2"Ø-2"Ø	584	PVC
M_Reductor_PVC	8"Ø-6"Ø	12	PVC
M_Reductor_PVC	6"Ø-4"Ø	32	PVC
M_Reductor_PVC	4"Ø-3"Ø	26	PVC
M_Reductor_PVC	3"Ø-2"Ø	112	PVC
M_Reductor_PVC	4"Ø-2"Ø	320	PVC

Fuente: Propia

Se selecciona los accesorios que tienen mayor incidencia en el presupuesto al instalarlos. El Análisis de Costo Unitario (ACU) se ubica en el Anexo N° 15 del cual se genera la Tabla N° 51 del resumen del Presupuesto total de instalación del sistema que se ubica en el Anexo N° 16.

Tabla N° 51: Presupuesto de sistema convencional.

PRESUPUESTO		
PARTIDA	DESCRIPCION	P.TOTAL
1.00	RED DE AGUA	S/. 253,259.13
2.00	RED DE DESAGUE	S/. 138,353.36
		S/. 391,612.50

Fuente: Propia

Estos precios fueron obtenidos de partidas realizadas en junio del 2017 por lo que se realiza una actualización de precio con la metodología de Índices Unificados de Precios de la Construcción. Las incidencias obtenidas del Análisis de Costo Unitario y Presupuesto se indican en la Tabla N° 52 donde está separado por Índices Unificados indicados en el Anexo N° 19.

Tabla N° 52: Tabla de índices unificados de la construcción.

	I.U.	INCIDENCIAS DE MATERIALES EN PRESUPUESTO
DÓLAR MAS INFLACIÓN MERCADO USA	30	0.0558
HERRAMIENTA MANUAL	37	0.0339
INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR	39	0.0179
MANO DE OBRA	47	0.7216
TUBERIA DE ACERO NEGRO O GALV.	65	0.0587
TUBERIA DE PVC PARA AGUA	72	0.1121
		1.00000

Fuente: Propia

El reajuste de precio se realiza con corte a mayo del 2019. Lima se ubica en el Área Geográfica 02. Se separa los monomios según las categorías de

incidencias que tienen las partidas en el Presupuesto según se indica en la Tabla N° 53.

Tabla N° 53: Monomio de presupuesto de sistema convencional.

NOMBRE DEL MONOMIO	I.U.	
A	47	MANO DE OBRA
B	37, 65, 72	HERRAMIENTAS, TUBERIA ACERO, TUBERIA PVC
C	30	DÓLAR MAS INFLACION USA
D	39	IGPC, GGUU

Fuente: propia

La Tabla N° 54 indica los Índices Unificados de los meses de junio del 2017 y mayo del 2019 obtenidos del Anexo N° 19 y Anexo N° 20 descargado de la página web oficial del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Tabla N° 54: Índices unificados de actualización del sistema convencional.

A	2017	2019
I.U.	O	R
47	563.25	600.4

C	2017	2019
I.U.	O	R
30	466.08	496.36

D	2017	2019
I.U.	O	R
39	440.79	457.75

B	2017	2019
I.U.	O	R
37	295.88	318.68
65	214.57	259.77
72	417.89	433.94
PROMEDIO	309.45	337.46

Fuente: Propia

La determinación del Factor K está dada por la siguiente ecuación:

$$K = A * \frac{Ao}{Ar} + B \frac{Bo}{Br} + C \frac{Co}{Br} + D \frac{Do}{Dr} \dots\dots\dots(66)$$

Donde:

- **K:** Factor relativo de promedio ponderado de Indicies Unificados
- **A, B, C, D:** Nombre del monomio.
- **Ao, Bo, Co, Do:** Índice de monomio de fecha desactualizada.

- **Ar, Br, Cr, Dr:** Índice de monomio de fecha a actualizar.

Por lo tanto, reemplazando los datos de la *Tabla N° 54*.

$$K = 0.7216 \frac{600.4}{563.25} + 0.2047 \frac{337.46}{309.45} + 0.0558 \frac{496.36}{466.08} + 0.0179 \frac{457.75}{440.79}$$

El Factor K es 1.0704 que se multiplica con el costo del presupuesto. El Presupuesto actualizado a mayo del 2019 es de **419,198.41** soles.

5.4. Análisis de costos con Sistema de Reciclaje de Aguas Grises en Edificio Multifamiliar

Al realizar el diseño en el software Revit tenemos la facilidad de obtener los metrados de manera automática de tuberías y accesorios que se instalan en este sistema. La Tabla N° 55 para las tuberías y Tabla N° 56 para los accesorios indica la cantidad el metrado y características según la clase de los elementos importados de Revit.

Tabla N° 55: Metrado de tuberías de sistema de reciclaje de aguas grises.

CLASE	DIAMETRO (pulg)	LONGITUD (m)
PVC AGUA CALIENTE	1/2	1402.27
PVC AGUA FRIA	1/2	834.18
PVC AGUA FRIA	3/4	506.55
PVC AGUA FRIA	1	891.86
PVC AGUA FRIA	2	397.63
PVC AGUA FRIA	3	142.14
PVC AGUA GRIS TRATADA	1/2	1047.97
PVC AGUA GRIS TRATADA	2	170.19
PVC AGUA GRIS	2	1080.7
PVC AGUA GRIS	3	539.8
PVC AGUA GRIS	4	92.32
PVC AGUA GRIS	6	49.36
PVC AGUA NEGRA	4	553.69
PVC AGUA NEGRA	6	51.38
PVC AGUA NEGRA	8	8.65

Fuente: propia

Tabla N° 56: Metrado de accesorios de sistema de reciclaje de aguas grises.

CLASE	DIAMETRO	UNIDADES	MATERIAL
M_Codo - PVC	3"Ø-3"Ø	17	PVC
M_Codo - PVC	2"Ø-2"Ø	30	PVC
M_Codo - PVC	1"Ø-1"Ø	562	PVC
M_Codo - PVC	3/4"Ø-3/4"Ø	246	PVC
M_Codo - PVC	1/2"Ø-1/2"Ø	1760	PVC
M_Codo - CPVC	1/2"Ø-1/2"Ø	1208	CPVC
M_Tee_PVC	3"Ø-3"Ø-3"Ø	12	PVC
M_Tee_PVC	2"Ø-2"Ø-2"Ø	89	PVC
M_Tee_PVC	1"Ø-1"Ø-1"Ø	80	PVC
M_Tee_PVC	4"Ø-3/4"Ø-3/4"	320	PVC
M_Tee_PVC	2"Ø-1/2"Ø-1/2'	400	PVC
M_Tee_CPVC	2"Ø-1/2"Ø-1/2'	400	CPVC
M_Reductor_PVC	3"Ø-2"Ø	12	PVC
M_Reductor_PVC	2"Ø-1"Ø	9	PVC
M_Reductor_PVC	2"Ø-1/2"Ø	80	PVC
M_Reductor_PVC	1"Ø-3/4"Ø	80	PVC
M_Reductor_PVC	3/4"Ø-1/2"Ø	320	PVC
M_Válvula esférica - BRONCE	3"Ø-3"Ø	4	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	2"Ø-2"Ø	6	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	1"Ø-1"Ø	160	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	3/4"Ø-3/4"Ø	80	BRONCE
M_Válvula esférica - BRONCE	1/2"Ø-1/2"Ø	640	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	3"Ø-3"Ø	2	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	2"Ø-2"Ø	4	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	1"Ø-1"Ø	160	BRONCE
M_Válvula check - BRONCE	1/2"Ø-1/2"Ø	90	BRONCE
M_Adaptador U_PVC	3"Ø-3"Ø	12	PVC
M_Adaptador U_PVC	2"Ø-2"Ø	12	PVC
M_Adaptador U_PVC	1"Ø-1"Ø	640	PVC
M_Adaptador U_PVC	3/4"Ø-3/4"Ø	160	PVC
M_Adaptador U_PVC	1/2"Ø-1/2"Ø	976	PVC
M_Adaptador U_CPVC	1/2"Ø-1/2"Ø	160	CPVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	6"Ø-6"Ø	12	PVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	4"Ø-4"Ø	320	PVC
M_Codo Sanitario 45_PVC	2"Ø-2"Ø	1960	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	6"Ø-6"Ø	14	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	4"Ø-4"Ø	320	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	3"Ø-3"Ø	328	PVC
M_Yee Sanitario_PVC	2"Ø-2"Ø	880	PVC
M_Reductor_PVC	8"Ø-6"Ø	10	PVC
M_Reductor_PVC	6"Ø-4"Ø	16	PVC
M_Reductor_PVC	4"Ø-3"Ø	18	PVC
M_Reductor_PVC	3"Ø-2"Ø	112	PVC
M_Reductor_PVC	4"Ø-2"Ø	96	PVC

Fuente: Propia

Se selecciona los accesorios que tienen mayor incidencia en el presupuesto al instalarlos. El Análisis de Costo Unitario (ACU) se ubica en el Anexo N° 15 del cual se genera la Tabla N° 57 del resumen del Presupuesto total de instalación del sistema que se ubica en el Anexo N° 18.

Tabla N° 57: Presupuesto del sistema de reciclaje de aguas grises.

PRESUPUESTO		
PARTIDA	DESCRIPCION	P.TOTAL
1.00	RED DE AGUA	S/. 297,755.81
2.00	RED DE DESAGUE	S/. 143,956.75
3.00	PLANTA DE TRATAMIENTO	S/. 58,728.62
		S/. 500,441.17

Fuente: Propia

Estos precios fueron obtenidos de partidas realizadas en junio del 2017 por lo que se realiza una actualización de precio con la metodología de Índices Unificados de Precios de la Construcción. Las incidencias obtenidas del Análisis de Costo Unitario y Presupuesto se indican en la Tabla N° 58 donde está separado por Índices Unificados indicados en el Anexo N° 17.

Tabla N° 58: Índices unificados de precios de la construcción.

	I.U.	INCIDENCIAS DE MATERIALES EN PRESUPUESTO
DÓLAR MAS INFLACIÓN MERCADO USA	30	0.0558
HERRAMIENTA MANUAL	37	0.0339
INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR	39	0.0179
MANO DE OBRA	47	0.7216
TUBERIA DE ACERO NEGRO O GALV.	65	0.0587
TUBERIA DE PVC PARA AGUA	72	0.1121
		1.00000

Fuente: Propia

El reajuste de precio se realiza con corte a mayo del 2019. Lima se ubica en el Área Geográfica 02. Se separa los monomios según las categorías de

incidencias que tienen las partidas en el Presupuesto según se indica en la Tabla N° 59:

Tabla N° 59: Monomios de presupuesto del sistema de reciclaje de aguas grises.

NOMBRE DEL MONOMIO	I.U.	
A	47	MANO DE OBRA
B	37, 65, 72	HERRAMIENTAS, TUBERIA ACERO, TUBERIA PVC
C	30	DÓLAR MAS INFLACION USA
D	39	IGPC, GGUU

Fuente: propia

La Tabla N° 60 indica los Índices Unificados de los meses de junio del 2017 y mayo del 2019 obtenidos del Anexo N° 19 y Anexo N° 20 descargado de la página web oficial del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Tabla N° 60: Índices unificados de actualización del sistema de reciclado de aguas grises.

A	2017	2019	D	2017	2019
I.U.	O	R	I.U.	O	R
47	563.25	600.4	39	440.79	457.75
C	2017	2019	B	2017	2019
I.U.	O	R	I.U.	O	R
30	466.08	496.36	37	295.88	318.68
			65	214.57	259.77
			72	417.89	433.94
			PROMEDIO	309.45	337.46

Fuente: Propia

La determinación del Factor K está dada por la siguiente ecuación (66) propuesta anteriormente.

Por lo tanto, reemplazando los datos de la Tabla N° 60:

$$K = 0.6197 \frac{600.4}{563.25} + 0.1970 \frac{337.46}{309.45} + 0.1694 \frac{496.36}{466.08} + 0.0140 \frac{457.75}{440.79}$$

El Factor K es 1.0702 que se multiplica con el costo del presupuesto. El Presupuesto actualizado a mayo del 2019 es de **535,595.23** soles.

5.5. Estructura tarifaria y tiempo de retorno para la instalación del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises

5.5.1. Ahorro de Agua Mensual

Del Ítem 4.2.4. Dotación de servicio de agua potable se muestra el consumo de agua de los dos sistemas planteados para comparación de resultados:

Tabla N° 61: Ahorro de agua mensual en edificio.

	CONSUMO DE AGUA	
	m3/día	m3/mes
SISTEMA CONVENCIONAL	88.00	2640.00
SISTEMA DE RECICLAJE DE AGUAS GRISES	60.72	1821.60
AHORRO DE AGUA MENSUAL EN EDIFICIO		818.40

Fuente: Propia

La Tabla N° 61 muestra la cantidad de agua que se ahorra mensualmente con la instalación del Sistema de Aguas Grises a comparación de un Sistema Convencional. Al obtener cuanto ya no se debe pagar por la cantidad de agua potable ahorrada se determina el ahorro de dinero mensual que los propietarios de los departamentos ahorran.

5.5.2. Estructura Tarifaria de Cercado de Lima

Se obtiene de la página web oficial de Sedapal las últimas 3 resoluciones donde indica la Estructura Tarifaria donde se ubica el edificio. La clase del edificio es Residencial ya que solo están ocupadas por viviendas y categoría domestica no subsidiaria porque no se encuentra en zona social vulnerable.

La Tabla N° 62 indica los precios que se debe pagar según la cantidad de consumo de agua potable y uso de alcantarillado por departamento. Estas resoluciones se encuentran en el Anexo N° 3.

Tabla N° 62: Estructura tarifaria de Sedapal.

	RANGOS DE CONSUMO	TARIFA		OBSERVACIONES
		AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	
	CARGO FIJO		4.886	
Jun-15	0-10	1.116	0.504	No incluye IGV.
	10-25	1.295	0.586	Anexo N° 3 de la Resolución de Consejo Directivo N° 022-2015-SUNASS-CD
	25-50	2.865	1.293	
	50 a más	4.858	2.193	
	CARGO FIJO		5.042	No incluye IGV.
Nov-18	0-20	1.478	0.901	Oficio N° 371-2018/SUNASS-030 de la Resolución de Consejo Directivo N° 022-2015-SUNASS-CD
	20-50	2.098	1.262	
	50 a más	5.360	2.499	
	CARGO FIJO		5.042	No incluye IGV.
Jul-19	0-20	1.487	0.917	Oficio N° 219-2019/SUNASS-030 de la Resolución de Consejo Directivo N° 022-2015-SUNASS-CD
	20-50	2.111	1.284	
	50 a más	5.394	2.542	

Fuente: Propia

La cantidad de consumo por departamento es de entre 33 m³ y 22.77 m³ según el Sistema que se instale en el edificio por lo que solo estamos en el rango de pago de entre 20 y 50 m³ mensuales.

5.5.3. Proyección de Estructura Tarifaria

En la Figura N° 61 y Figura N° 62 se grafica los meses donde se obtuvo la tarifa de precios vs el precio en soles por m³ de agua potable. Se realiza una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta tendencia del gráfico.

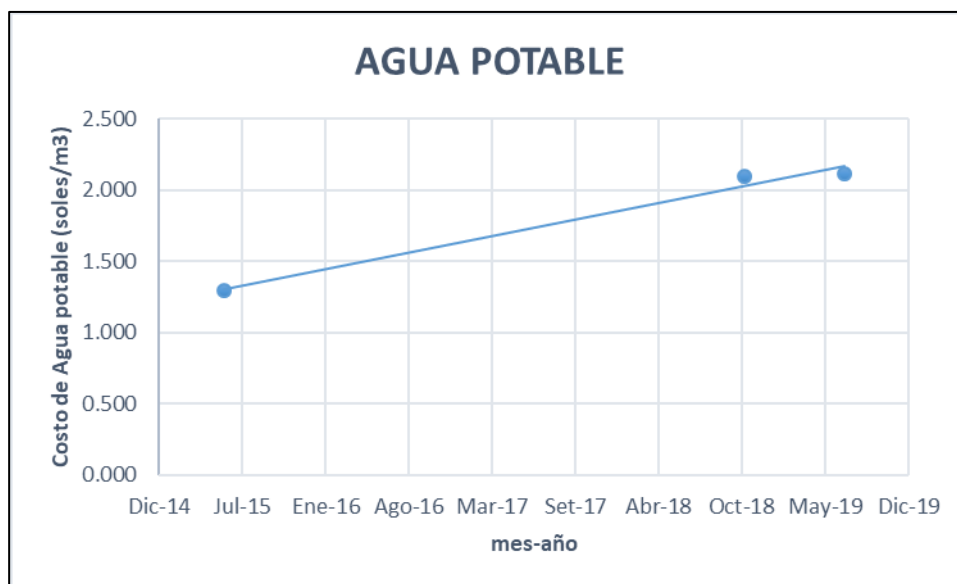


Figura N° 61: Tendencia de estructura tarifaria de agua potable.

Fuente: propia

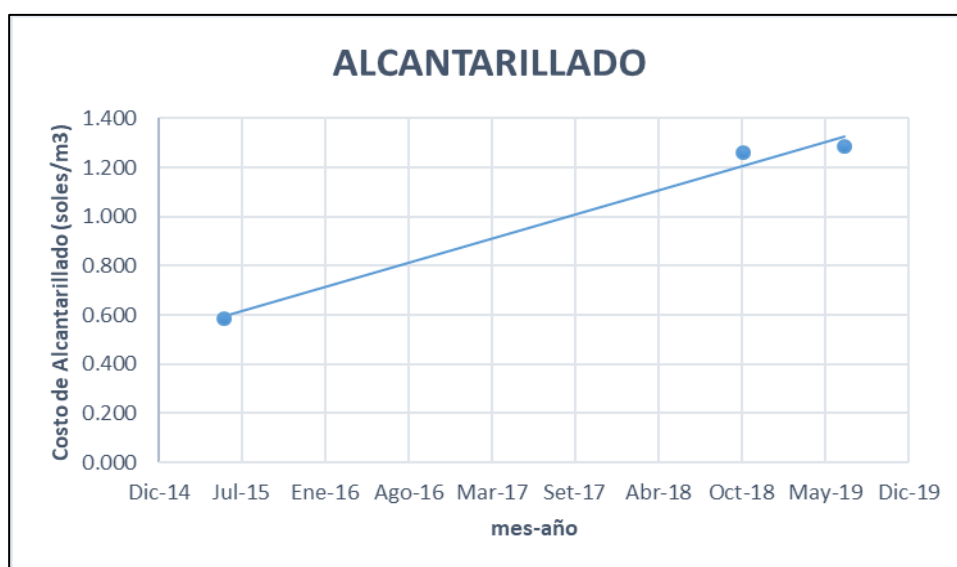


Figura N° 62: Tendencia de estructura tarifaria de alcantarillado.

Fuente: Propia

Cada gráfico nos brinda la tendencia de aumento de precio el costo de Agua Potable y costo de Alcantarillado conforme al tiempo teniendo como resultado las siguientes ecuaciones de Línea de Tendencia:

$$\text{Costo de Agua Potable} = 0.0176 * N^{\circ}\text{Mes} + 1.288 \dots\dots\dots(67)$$

$$\text{Costo de Alcantarillado} = 0.015 * N^{\circ}\text{Mes} + 0.597 \dots\dots\dots(68)$$

Donde:

- El costo de Agua Potable y Alcantarillado está en soles/m3.
- N° Mes corresponde a la numeración del mes comenzando en junio del 2015 (N°01)



5.5.4. Proyección de consumo y ahorro generado

Con las ecuaciones de tendencia se proyectan los costos de agua potable y alcantarillado para los próximos 10 años empezando desde Enero del 2020. Sabiendo que tenemos un ahorro mensual de 818.40 m3 de agua potable obtenemos el importe mensual ahorrado. De esta manera observamos en la Tabla N° 63 el importe ahorrado acumulado durante los 10 años de proyección.

Tabla N° 63: Proyección de consumo y ahorro generado.

MESES	AGUA POTABLE		AGUA POTABLE AHORRADA (m3/mes)	IMPORTE MENSUAL		IMPORTE MENSUAL AHORRADO ACUMULADO
	AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO		AHORRADO	AHORRADO	
Ene-20	2.2744	1.4197	818.40	S/	3,023.25	S/ 3,023.25
Feb-20	2.292	1.4347	818.40	S/	3,049.93	S/ 6,073.18
Mar-20	2.3096	1.4497	818.40	S/	3,076.61	S/ 9,149.79
Abr-20	2.3272	1.4647	818.40	S/	3,103.29	S/ 12,253.08
May-20	2.3448	1.4797	818.40	S/	3,129.97	S/ 15,383.06
Jun-20	2.3624	1.4947	818.40	S/	3,156.65	S/ 18,539.71
Jul-20	2.38	1.5097	818.40	S/	3,183.33	S/ 21,723.04
Ago-20	2.3976	1.5247	818.40	S/	3,210.01	S/ 24,933.05
Set-20	2.4152	1.5397	818.40	S/	3,236.69	S/ 28,169.74
Oct-20	2.4328	1.5547	818.40	S/	3,263.37	S/ 31,433.11
Nov-20	2.4504	1.5697	818.40	S/	3,290.05	S/ 34,723.16
Dic-20	2.468	1.5847	818.40	S/	3,316.73	S/ 38,039.89
Ene-22	2.6968	1.7797	818.40	S/	3,663.57	S/ 83,585.24
Feb-22	2.7144	1.7947	818.40	S/	3,690.25	S/ 87,275.49
Mar-22	2.732	1.8097	818.40	S/	3,716.93	S/ 90,992.41
Abr-22	2.7496	1.8247	818.40	S/	3,743.61	S/ 94,736.02
May-22	2.7672	1.8397	818.40	S/	3,770.29	S/ 98,506.31
Jun-22	2.7848	1.8547	818.40	S/	3,796.97	S/ 102,303.27
Jul-22	2.8024	1.8697	818.40	S/	3,823.65	S/ 106,126.92
Ago-22	2.82	1.8847	818.40	S/	3,850.33	S/ 109,977.25
Set-22	2.8376	1.8997	818.40	S/	3,877.01	S/ 113,854.25
Oct-22	2.8552	1.9147	818.40	S/	3,903.69	S/ 117,757.94
Nov-22	2.8728	1.9297	818.40	S/	3,930.37	S/ 121,688.31
Dic-22	2.8904	1.9447	818.40	S/	3,957.05	S/ 125,645.35
Ene-23	2.908	1.9597	818.40	S/	3,983.73	S/ 129,629.08
Feb-23	2.9256	1.9747	818.40	S/	4,010.41	S/ 133,639.48
Mar-23	2.9432	1.9897	818.40	S/	4,037.09	S/ 137,676.57
Abr-23	2.9608	2.0047	818.40	S/	4,063.77	S/ 141,740.33
May-23	2.9784	2.0197	818.40	S/	4,090.45	S/ 145,830.78
Jun-23	2.996	2.0347	818.40	S/	4,117.12	S/ 149,947.90
Jul-23	3.0136	2.0497	818.40	S/	4,143.80	S/ 154,091.71
Ago-23	3.0312	2.0647	818.40	S/	4,170.48	S/ 158,262.19
Set-23	3.0488	2.0797	818.40	S/	4,197.16	S/ 162,459.36
Oct-23	3.0664	2.0947	818.40	S/	4,223.84	S/ 166,683.20
Nov-23	3.084	2.1097	818.40	S/	4,250.52	S/ 170,933.72
Dic-23	3.1016	2.1247	818.40	S/	4,277.20	S/ 175,210.93
Ene-29	4.1752	3.0397	818.40	S/	5,904.67	S/ 486,571.95
Feb-29	4.1928	3.0547	818.40	S/	5,931.35	S/ 492,503.30
Mar-29	4.2104	3.0697	818.40	S/	5,958.03	S/ 498,461.33
Abr-29	4.228	3.0847	818.40	S/	5,984.71	S/ 504,446.05
May-29	4.2456	3.0997	818.40	S/	6,011.39	S/ 510,457.44
Jun-29	4.2632	3.1147	818.40	S/	6,038.07	S/ 516,495.51
Jul-29	4.2808	3.1297	818.40	S/	6,064.75	S/ 522,560.27
Ago-29	4.2984	3.1447	818.40	S/	6,091.43	S/ 528,651.70
Set-29	4.316	3.1597	818.40	S/	6,118.11	S/ 534,769.81
Oct-29	4.3336	3.1747	818.40	S/	6,144.79	S/ 540,914.61
Nov-29	4.3512	3.1897	818.40	S/	6,171.47	S/ 547,086.08
Dic-29	4.3688	3.2047	818.40	S/	6,198.15	S/ 553,284.23

Fuente: Propia

RECUPERACION DE
INVERSION 
AHORO GENERADO 

De los Ítems 5.3 y 5.4 del estudio se sabe que la diferencia de costos directos es de 116,396.83 soles que se considera como inversión para la instalación del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises. Este dinero de inversión se recuperará en 3 años con 10 meses (estatus rojo) y durante los siguientes 6 años con 2 meses (estatus verde) se llega a ahorrar la suma de **435,526.29** soles y una cantidad de **98,208 m3** de agua potable.

CONCLUSIONES

- 1) Al proponer un Sistema de Reciclaje de Aguas Grises que permite la reutilización de estas calidades de aguas captadas de elementos sanitarios en el edificio Santa Beatriz Bloque II se buscó diseñar un sistema que sea capaz de reducir el consumo de agua potable sin alterar el estilo de vida de los habitantes del edificio. El sistema genera un caudal de consumo 60,720 litros de agua potable al día obtenido teóricamente de la aplicación de la ecuación N°56 de Hazen-Williams y el cálculo de dotaciones a elementos sanitarios indicados en la Tabla N°16 y Tabla N°17 alcanzados de la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones. Al realizar la comparación con un Sistema Convencional de diseño hidráulico, este genera un consumo de 80,000 litros de agua potable. Por lo que se concluye que, al instalar el Sistema de Reciclaje de aguas Grises, se ahorra un 31% del consumo de agua potable como indica la Tabla N° 21. logrando así cumplir con el objetivo principal de la investigación.

El resultado se contrasta con el informe Viabilidad del Aprovechamiento de las Aguas residuales generadas en los edificios de la Universidad Politécnica de Madrid indica que “en la utilización de cisternas de los inodoros se supone un ahorro aproximado entre un 20 y 30% del consumo diario de agua potable” (p.11) teniendo porcentajes menores a los presentados por lo que se considera que esta investigación tiene óptimos resultados.

En la tesis de pregrado Diseño de un Sistema de Reciclado de Aguas Grises de la Universidad de Tacna se concluye que “el porcentaje de agua a reutilizar es de 44%” (p. 109). Este porcentaje ahorro es más elevado puesto que utiliza también las aguas grises en el riego de aguas verdes y limpieza en el hogar.

- 2) Un aspecto importante del diseño del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises es el análisis de las presiones en el edificio que indica en la Tabla N°48 y los resultados se encuentran en el rango entre 5.03 y 45.56 mca para los elementos sanitarios que requieren de agua potable y agua tratada. Estas presiones diseñadas son las

adecuadas siendo no menores a 5 mca y no mayores a 50 mca según lo indicado en la Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones.

- 3) El beneficio directo que produce la instalación del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises, genera un ahorro en el consumo de agua potable y por ende, en la facturación mensual y economía de los residentes de los departamentos; el ahorro asciende inicialmente a S/. 3,23.25 soles mensuales entre todos los departamentos y este monto van aumentando según la proyección en la *Tabla N° 63* por el aumento del precio del servicio de Agua Potable y Alcantarillado en los próximos 10 años.
- 4) La deducción principal al instalar el Sistema de Reciclaje de Aguas grises es que la reducción del 31% del consumo de agua potable genera también una reducción en la producción de aguas residuales que son eliminadas al sistema de alcantarillado público en un 31%. Esta reducción de aguas residuales produce un ahorro en la facturación de pago por alcantarillado público como indica la *Tabla N°63*.
- 5) Se planteó utilizar el software Revit para mejorar significativamente la aproximación real de elementos instalados en el Sistema de Reciclaje de Aguas Grises. Este software cumple su objetivo al generar de manera rápida y confiable las tablas de metrados indicados en las *Tablas N°55* y *Tabla N°56* según las características de diseño. De esta manera se mitiga los costos de instalación y se propone precios en el Presupuesto de la *Tabla N° 57* de inversión para el Sistema de Reciclaje de Aguas Grises.
- 6) Fue necesario demostrar la viabilidad del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises generando un monto a invertir es de S/. 116,396.83 soles. Se calculó el retorno del dinero por el método de Regresión Lineal con las ecuaciones (67) y (68) para proyectar en modo de ahorro en el plazo de 3 años con 10 meses como indica en la *Tabla N° 63* en importes ahorrados a Sedapal. Al obtener un tiempo corto de retorno del dinero se concluye que es viable la instalación y puesta en marcha del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises.

- 7) Se amplió el análisis de la viabilidad del Sistema que se planteó inicialmente y se generó una mayor proyección del ahorro para los próximos 6 años con 10 meses de uso del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises. Luego de haber retornado el dinero de la inversión del Sistema, se generará un ahorro de S/. 435,526.29 soles en importes ahorrados a Sedapal entre todos los propietarios de los departamentos como se muestra en la *Tabla N° 63*. El uso del Sistema de Reciclaje de Aguas Grises ahorrará 98,208 m³ de agua en los próximos 10 años disminuyendo el estrés hídrico que hay en la ciudad de Lima, un Sistema social y ecológicamente viable, teniendo un valor incalculable para la vida y futura supervivencia humana debido a la escasez de agua en Lima y en todo el Planeta.

RECOMENDACIONES

- 1) Dentro de una investigación tan ambiciosa como lo fue esta, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo. Las futuras investigaciones sobre el Reciclaje de Aguas Grises deben complementar el análisis de sistemas parecidos para los sótanos del edificio debido a que se requiere de sistemas adicionales de bombeo y traslados de aguas grises y negras que no se contemplan dentro de las limitaciones de la investigación.
- 2) En la presente investigación se consideró el estudio en la zona costera donde no hay aguas pluviales de gran importancia. De esta forma en futuras investigaciones en zonas, como la Sierra y Selva, donde si hay presencia de lluvias puede tomarse en cuenta como un caudal adicional para el sistema de reciclaje de aguas grises, generando un aumento en el ahorro de agua potable.
- 3) Se puede proponer en futuras investigaciones darle uso a las aguas grises para otros fines adicionales como la limpieza o el riego de áreas verdes que ayudaría a reducir en mayor cantidad el consumo de agua potable a nivel macro del edificio.
- 4) Actualmente se están diseñando y construyendo edificios con la categoría LEED en Lima, los cuales mantienen una certificación por ser edificios sostenibles mejorando la calidad y eficiencia en el consumo de agua. Para complementar estos sistemas y obtener mayores resultados de ahorro de agua se puede proponer instalar Sistemas de Reciclaje de Aguas Grises.
- 5) Es de gran importancia que el Estado realizar mayores investigaciones que involucre en promover más normativas, criterios y apoyo logístico a inmobiliarias que deseen realizar la instalación de Sistemas de Reciclaje de Aguas Grises. Al paso del tiempo, se espera que todos los edificios cuenten con un sistema de ahorro de agua para contribuir con el planeta y en un futuro no muy lejano con la supervivencia humana.

- 6) Una parte importante luego de la instalación del sistema es complementar información la capacitación a los residentes sobre la utilización del Sistema de Reciclaje de aguas Grises es fundamental ya que se debe tener mucho cuidado para no realizar conexiones clandestinas que afecten la calidad del agua potable o tratada. La organización de los propietarios o beneficiarios del sistema tendrá un rol importante para mantener en condiciones adecuadas el Tanque de Tratamiento de Aguas Grises. La inversión que realiza la inmobiliaria puede ser prorrateada entre todos los departamentos en el precio de venta para que no se vea afectado. Los propietarios podrían pagar el costo adicional y al paso del tiempo estos terminarían ahorrando dinero en facturaciones mensuales a Sedapal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aqua España. (2016). *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*. Barcelona, España. Obtenido de <https://www.aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>
- Arce Jáuregui, L. F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales (Tesis Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4568>
- Castro Ladino, N. Y., Garzón Garzón, J. E., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). *Aplacación de los métodos para el cálculo de caudales máximos (VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua)*. João Pessoa, Brasil.
- Collazos, C. J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Cátedra Internacional)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ericksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). *Characteristics of Grey Wastewater (Artículo)*. Universidad Técnica de Dinamarca, Kongens Lyngby, Dinamarca. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/257587685_Characteristics_of_Grey_Wastewater
- Gallo Calderón, H. (2010). *Plantas de tratamiento de aguas grises*. Universidad de Morón, Buenos Aires, Argentina.
- HYDROBIM. (2018). *¿Qué significa Revit MEP?* Obtenido de <https://hydrobim.cl/2018/09/04/que-significa-revit-mep/>

- iAgua Conocimiento, SL. (2014). La reutilización planificada del agua empezó en 1912 en Estados Unidos. Madrid, España. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/espana/redaccion-iagua/14/11/28/iaguadyr-isabel-martin-tecnico-proyectos-tratamiento-y>
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). *Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse (Investigación)*. Universidad de Cranfield, Bedfordshire, Reino Unido.
- León Suematsu, G., & Moscoso Cavallini, J. (1996). *Curso de tratamiento y uso de aguas residuales*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) - Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuse*. Science of the Total Environment.
- Loza Delgado, P. J., & Zegarra Alvarado, N. J. (2017). *Diseño de un Sistema de Reciclado de Aguas Grises y su Aprovechamiento para un Desarrollo Sostenible en una Vivienda Multifamiliar de Doce Pisos en la Ciudad de Tacna, 2017 (Tesis Pregrado)*. Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/341>
- Matos, C., Sampaio, A., & Bentes, I. (2012). *Greywater Use in Irrigation: Characteristics, Advantages and Concerns*. University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. Obtenido de <https://www.intechopen.com/books/irrigation-water-management-pollution-and-alternative-strategies/greywater-use-in-irrigation-characteristics-advantages-and-concerns>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones (Vol. II. 3 OBRAS DE SANEAMIENTO OS. 100, IS. 010, OS 090)*. Lima, Perú.

- Ministerio del Ambiente. (2009). *Disposición para implementación de los ECA para agua. (Decreto Supremo N°023-2009-MINAM)*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Disposición para implementación de los ECA para agua. (Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM)*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Disposición para implementación de los ECA para agua. (Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM)*. Lima, Perú.
- Morel, A, & Diener, S. (2006). *Greywater management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuáticas, Dübendorf, Suiza.
- Niño Rodriguez, E. D., & Martínez Medina, N. C. (2013). *Estudio de las aguas grises domesticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá (Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/11139>
- OEFA - Organismo de evaluación y fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Saldarriaga V, J. G. (2001). *Hidráulica de tuberías*. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- SUNASS - Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2008). *Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución*. Perú. Lima, Perú.

ANEXO N° 1

ANEXO N° 2

ANEXO N° 3

ANEXO N° 4

ANEXO N° 5

ANEXO N° 6

ANEXO N° 7

ANEXO N° 8

ANEXO N° 9

ANEXO N° 10

ANEXO N° 11

ANEXO N° 12

ANEXO N° 13

ANEXO N° 14

ANEXO N° 15

ANEXO N° 16

ANEXO N° 17

ANEXO N° 18

ANEXO N° 19

ANEXO N° 20

ANEXO N° 21

ANEXO N° 22

ANEXO N° 23

ANEXO N° 24