



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

**Evaluación de la disminución del consumo de agua potable con la aplicación
de un sistema presurizado en el edificio de Ciencia y Tecnología de la
Universidad del Azuay**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

JULIO ADRIÁN LÓPEZ CANDO

BRENDA CAMILA MURILLO LÓPEZ

Director:

ING. JOSUÉ LARRIVA

CUENCA ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del trabajo en conjunto de todos los que conformamos el grupo de trabajo.

A lo largo del tiempo hemos descubierto que, en cualquier oportunidad, en cualquier momento y sin darse cuenta te encontrarán las personas correctas con quienes podrás pasar todos los obstáculos, y que sin ellos nada sabe igual.

A la Universidad del Azuay y a los docentes quienes nos brindaron gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su esfuerzo, dedicación y paciencia.

Por eso agradecemos a nuestro director de proyecto de titulación Ing. Josué Larriva, quien dedicó su tiempo a este proyecto y nos guio en este trayecto, por lo que le estaremos agradecidos siempre. A nuestros amigos Andrés Vallejo, Nicolás Regalado, Alex Maldonado y Pablo Pérez que sin ellos hubiese sido muy distinto todo este camino, hemos compartido tantas anécdotas, frustraciones viajes, alegrías que son una amistad incondicional en todos los aspectos, gracias muchachos.

Gracias mutuas entre nosotros compañeros de proyecto de titulación Julio López y Brenda Murillo porque supimos ser un gran equipo y no se hubiera podido obtener todos los resultados esperados y más sin todo el esfuerzo que conllevo este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico mi camino, trabajo y esfuerzo a tres personas que son base de todo esto, mis papás Julio López y Marcia Cando, que son los que me dan ánimos de seguir mis sueños y sobre todo nunca desfallecer, siempre con una sonrisa, un abrazo y un consejo puedo seguir adelante, tener el apoyo incondicional de ellos hacen que nada sea imposible. Jamás pensé encontrarme con alguien tan especial y maravillosa, quien me inspira a siempre encontrar nuevas metas y sueños, quien siempre está ahí para calmar todo, quien ha visto todos los esfuerzos, todas las sonrisas y todo este trayecto a mi enamorada Alisson Barrera.

Julio A. López Cando

DEDICATORIA

Dedico la culminación de este camino y una etapa más en mi vida a mis pilares, quienes han sido indispensables durante toda mi vida, a mis abuelos Patricio López y Ma. Elena Astudillo quienes me han dado la fortaleza de nunca detenerme y cumplir todo lo que me proponga con mucho amor y siendo feliz. A mis padres Felipe Murillo y Valentina López quienes son mis mejores amigos y me han apoyado en cada decisión que he tomado y siempre han estado para con sus consejos y palabras para ser mejor cada día, les dedico este logro y los que vienen adelante. La vida me dio el regalo más preciado, el tener a alguien que caminé a mi lado, me apoyé en cada momento, quien ha visto mis momentos más duros y felices y ha permanecido a mi lado para apoyarme y acompañarme en este trayecto se lo dedico a mi enamorado y compañero de vida Pablo Pérez.

Brenda C. Murillo López

RESUMEN

Esta investigación evalúa la aplicación de un sistema de aire comprimido para reducir el consumo de agua potable en el edificio de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay. Este estudio abarca el análisis de los equipos, materiales y configuración de tuberías necesarios para la aplicación del sistema de aire comprimido en la distribución de agua potable para el consumo doméstico. A partir de este análisis se construyó un modelo físico en el cual se realizaron pruebas de funcionamiento, determinando los caudales y presiones que pueden obtenerse de su aplicación, tanto para una vivienda como para el edificio. Finalmente se evaluó la disponibilidad de esta tecnología en el Ecuador, a partir del uso de compresores de aire y un manifold para conseguir la mezcla con el aire comprimido, obteniendo los costos necesarios para su aplicación en un caso práctico.

Palabras claves: agua potable, sistema de aire comprimido, consumo, optimización, materiales para tuberías.

ABSTRACT

This research evaluates the application of a compressed air system to reduce drinking water consumption in the Science and Technology building of the University of Azuay. This study covers the analysis of the equipment, materials and piping configuration necessary for the application of the compressed air system in the distribution of drinking water for domestic consumption. From this analysis, a physical model was built in which functional tests were carried out, determining the flows and pressures that can be obtained from its application, both for a house and for the building. Finally, the availability of this technology in Ecuador was evaluated, based on the use of air compressors and a manifold to achieve the mixture with compressed air, obtaining the necessary costs for its application in a practical case.

Keywords: potable water, compressed air system, consumption, optimization, materials for pipes.

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ECUACIONES	xi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general:.....	2
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO 1.....	3
1 Sistema presurizado de aire comprimido y su aplicación en el Ecuador.	3
1.1 Materiales para las tuberías de aire comprimido.	4
1.2 Estado del arte.....	10
1.3 Tecnología disponible en Ecuador.	13
1.3.1 Tecnología de aire comprimido	13
1.3.2 Conexiones.....	15
CAPITULO 2.....	18
2 Modelo físico y modelos de cálculo para la aplicación de un sistema presurizado en el edificio de Ciencia y Tecnología.	18
2.1 Desarrollo de modelo físico	18
2.1.1 Materiales.....	19
2.1.2 Procedimiento	19
2.2 Aplicación del sistema presurizado	23
2.2.1 Aplicación del sistema con tanque a 2 metros de altura	23

2.2.2	Aplicación del sistema con tanque a nivel del suelo.....	26
2.3	Modelo de cálculo.....	28
2.3.1	Parámetros de diseño	28
2.3.2	Criterios de diseño	33
2.3.3	Conceptos de las instalaciones sanitarias.....	35
2.3.4	Infraestructura existente del edificio de Ciencia y Tecnología.....	46
2.3.5	Consideraciones en abastecimiento de agua potable para el edificio de Ciencia y Tecnología.....	47
2.3.6	Tabla de cálculo – Agua Potable.....	50
2.3.7	Recomendaciones para el edificio de Ciencia y Tecnología.....	53
2.3.8	Dimensionamiento	53
CAPITULO 3.....		60
3	Análisis de costo a largo plazo de la implementación de un sistema presurizado	60
3.1	Tarifas	60
3.1.1	Tarifa comprometida con el medio ambiente.....	61
3.1.2	Tarifa diferenciada	61
3.1.3	Tarifa con facturación mensual.....	62
3.1.4	Tarifa solidaria	62
3.1.5	Tarifa binómica	62
3.2	Facturación.....	62
3.2.1	Beneficios	63
3.3	Tanque de reserva	63
3.4	Bomba e hidroneumático	64
3.5	Compresor.....	66
3.6	Resultados y Discusión.....	67

Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Bibliografía	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo	3
Tabla 2.1 Prueba 1 Sin aire comprimido, sin flujo continuo	24
Tabla 2.2 Prueba 2 Con aire comprimido, sin flujo continuo	24
Tabla 2.3 Prueba 3 Sin aire comprimido, con flujo continuo	25
Tabla 2.4 Prueba 4 Con aire comprimido, flujo continuo	25
Tabla 2.5 Prueba 7 Flujo continuo, sin aire comprimido	27
Tabla 2.6 Prueba 8 Flujo continuo, con aire comprimido	27
Tabla 2.7 Promedio de datos obtenidos en cada prueba	28
Tabla 2.8 Diámetros comerciales	32
Tabla 2.9 Factor r, región geométrica	32
Tabla 2.10 Nivel de servicio	32
Tabla 2.11 Dotación media futura	33
Tabla 2.12 Cantidad de agua que se transporta, diámetro de tubería	34
Tabla 2.13 Valores de descarga por aparato y uso	37
Tabla 2.14 Derivación en colector, Número máximo de unidades de descarga	37
Tabla 2.15 Diámetros de las Columnas de Descarga	38
Tabla 2.16 Caudal, peso por aparato HS	39
Tabla 2.17 Tipos de accesorios, longitud equivalente (Le/D)	40
Tabla 2.18 Cálculo acometida domiciliaria	40
Tabla 2.19 Cálculo de Cisterna	41
Tabla 2.20 Dimensionamiento de tubería de llenado de la cisterna	41
Tabla 2.21 Dimensionamiento del medidor	42
Tabla 2.22 Consumo según local	42
Tabla 2.23 Tasa de ocupación, local	43
Tabla 2.24 Tipo de bomba	43
Tabla 2.25 Potencia calculada	44
Tabla 2.26 Especificaciones de tanque vertical	45
Tabla 2.27 Número de bombas y caudal de bombeo	46

Tabla 2.28 Pesos de aparatos sanitarios	48
Tabla 2.29 Longitud equivalente de accesorios	49
Tabla 2.30 Cálculo agua potable - Red fría.....	50
Tabla 2.31 Cálculo agua potable - Recirculación	51
Tabla 2.32 Cálculo agua potable - Principal	52
Tabla 2.33 Cálculo altura de bombeo	54
Tabla 2.34 Cálculo Caudal necesario, pesos de los aparatos en el edificio	54
Tabla 2.35 Potencia de la bomba, calculada	54
Tabla 2.36 Cálculo Tanque Hidroneumático.....	55
Tabla 2.37 Cálculo Volumen Tanque Hidroneumático	55
Tabla 2.38 Cálculo de Volumen para Tanque Precargado.....	55
Tabla 3.1 Tarifario actualizado del servicio de Agua potable y Saneamiento	60
Tabla 3.2 Costo de servicio de agua potable para ETAPA EP	61
Tabla 3.3 Tanque de reserva, Capacidad (Lt), Costo (\$).....	64
Tabla 3.4 Tanque Hidroneumático Vertical (sin patas), Características.....	65
Tabla 3.5 Tanque Hidroneumático Vertical (con patas), Características	65
Tabla 3.6 Tanque de presión, Características, Costo.....	65
Tabla 3.7 Bombas, Potencia, Costo	66
Tabla 3.8 Compresor, Características, Costo	66
Tabla 3.9 Comparación de Costos	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Termofusora.....	7
Figura 1.2 Calentamiento de los accesorios.....	8
Figura 1.3 Unión de los accesorios a presión	8
Figura 1.4 Unión de todos los accesorios que conforman un sistema	9
Figura 1.5 Sistema de hidroneumático con tanque horizontal.....	12
Figura 1.6 Sistema de hidroneumático con tanque vertical	13
Figura 1.7 Válvula check	15
Figura 2.1 Medidas constructivas de modelo físico.....	19
Figura 2.2 Diseño de modelo físico 3D en AutoCad	20
<i>Figura 2.3 Estante de madera 2 m y tanque de vidrio.....</i>	<i>20</i>
Figura 2.4 Conexión directa desde el tanque hasta el punto de salida (grifo)	21
Figura 2.5 Modelo rediseñado	23
Figura 2.6 Sistema con tanque a nivel del suelo.....	26
Figura 2.7 Representación gráfica, ecuación de Benoulli.....	29
Figura 2.8 Principales componentes que integran un compresor eléctrico.....	57
Figura 2.9 Compresor de aire vertical, 5HP	58
Figura 2.10 Tubería de conducción de aire comprimido, sistema hidrosanitario	59
Figura 2.11 Simbología.....	59

INDICE DE ECUACIONES

ecuación 2.1 Promedio.....	23
ecuación 2.2 Demanda.....	28
ecuación 2.3 Caudal máx. diario.....	28
ecuación 2.4 Caudal máx. horario.....	28
ecuación 2.5 Conservación de la energía.....	29
ecuación 2.6 Benoulli.....	29
ecuación 2.7 Benoulli, Energías.....	29
ecuación 2.8 Bernoulli, pérdidas.....	30
ecuación 2.9 Pérdidas por accesorios.....	30
ecuación 2.10 Pérdida.....	30
ecuación 2.11 Pérdida por fricción.....	30
ecuación 2.12 Darcy - Weisbach.....	31
ecuación 2.13 Darcy - Weisbach.....	31
ecuación 2.14 Hazen - Williams.....	31
ecuación 2.15 Pérdida, Hazen Williams.....	31
ecuación 2.16 Pérdida unitaria, Hazen - Williams.....	31
ecuación 2.17 Hazen - Williams.....	31
ecuación 2.18 Hazen - Williams.....	31
ecuación 2.19 Darcy - Weisbach.....	32
ecuación 2.20 Población.....	32
ecuación 2.21 Presiones.....	33
ecuación 2.22 Volumen.....	35
ecuación 2.23 Caudal.....	38
ecuación 2.24 Pérdida de carga.....	41
ecuación 2.25 Potencia.....	43
ecuación 2.26 Alturaa.....	43
ecuación 2.27 Volumen útil.....	44
ecuación 2.28 Volumen de seguridad.....	44
ecuación 2.29 Volumen de aire.....	44
ecuación 2.30 Fair – Whipple – Hsiao, cobre o PVC.....	48

ecuación 2.31 Fair – Whipple – Hsiao, cobre, latón o PVC	48
ecuación 2.32 Longitud equivalente	49
ecuación 2.33 Longitud total.....	49

Evaluación de la disminución del consumo de agua potable con la aplicación de un sistema presurizado en el edificio de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay

INTRODUCCIÓN

En la AGENDA 2030 se menciona uno de los objetivos de Desarrollo Sostenible. Este es el objetivo 6 “Agua limpia y Saneamiento”, el cual indica que para el año 2050 una de cada cuatro personas vivirá en una ciudad en la que exista escasez de agua dulce (Agenda 2030, 2018). A pesar de que se han implementado varios métodos para cumplir con dicho objetivo esto no ha sido posible ya que existe una falta de conciencia de la población dando como resultado el inicio del desabastecimiento de agua, así como su escasez en sectores rurales, debido al excesivo consumo de agua potable en la ciudad y a que la presión se implementa al momento de realizar la distribución de agua mas no de forma interna a una vivienda lo que provoca una variación en el consumo dependiendo de la elevación en la que esta se encuentra.

En Ecuador existe un cambio significativo en el consumo de agua potable, ya que en el trascurso de estos años se ha presentado un crecimiento demográfico dando como consecuencia un cambio económico, social y tecnología. Además, uno de los factores que tuvo un mayor impacto en estos cambios fue la pandemia COVID-19 debido a que la población se vio obligada a estar en aislamiento lo que generó un mayor consumo de agua y por consecuencia un estado de emergencia debido a los desastres naturales que se han presentado como resultado del cambio climático y escasez de los recursos naturales indispensables para la vida humana (Zúñiga, *et al*, 2023).

Debido al excesivo consumo de agua potable se han realizado diversos estudios para mejorar la utilización de dicho recurso, así como generar una conciencia sobre este ya que se busca evitar la escasez a nivel mundial. En Cuenca-Ecuador se busca implementar un consumo sustentable en donde se utilice el agua lluvia, esto es adicional a la reserva de la ciudad la cual se ha visto igualmente afectada (Molina, *et al*, 2018). Además de buscar la utilización de aguas lluvia, se implementan bombas de presión hidráulicas tanto en los tanques de distribución de agua como en las viviendas de manera interna; sin embargo, no se ha logrado mejorar el consumo en la ciudad por lo que se estudiará la forma de implementar un sistema presurizado a través de un compresor de aire.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Realizar un estudio de la implementación de un sistema de aire presurizado en el edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología para mejorar el consumo de agua potable.

Objetivos específicos:

- Realizar un estudio bibliográfico sobre la aplicación de un sistema presurizado de aire comprimido y disponibilidad tecnológica actual en Ecuador.
- Aplicar el sistema presurizado en el edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, a través de un modelo.
- Analizar el costo de la implementación del proyecto a largo plazo para así mejorar el consumo de agua potable.

CAPÍTULO 1

1 Sistema presurizado de aire comprimido y su aplicación en el Ecuador.

La distribución del agua potable es fundamental para una vida de calidad y ha sido base para el desarrollo de la sociedad, por ello se suministra con la calidad y cantidad suficiente para cubrir las necesidades que se presentan, (Carmona, 2010). Para lograr un correcto dimensionamiento de las tuberías que distribuirán el agua dentro de las edificaciones, es necesario tener en cuenta factores antes de determinar el consumo de agua:

- Demanda máxima de agua: para el correcto funcionamiento de aparatos.
- Demanda punta o pico: a la cual estará sometido el sistema.

Tabla 1.1 Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo

Aparato sanitario	Caudal instantáneo mínimo (L/s)	Presión		Diámetro según NTE INEN 1369 (mm)
		recomendada (m.c.a.)	mínima (m.c.a.)	
Bañera/tina	0.3	7	3	20
Bidet	0.1	7	3	16
Calentadores/calderas	0.3	15	10	20
Ducha	0.2	10	3	16
Fregadero cocina	0.2	5	2	16
Fuentes para beber	0.1	3	2	16
Grifo para manguera	0.2	7	3	16
Inodoro con deposito	0.1	7	3	16
Inodoro con fluxor	1.25	15	10	25
Lavabo	0.1	5	2	16
Máquina de lavar ropa	0.2	7	3	16
Máquina lava vajilla	0.2	7	3	16
Urinario con fluxor	0.5	15	10	20
Urinario con llave	0.15	7	3	16
Sauna, turco o hidromasaje domestico	1	15	10	25

Fuente: Norma NEC-II Capítulo 16 NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA

Para estos factores y otros hay que tener un historial de datos y cuantas personas están en el edificio, posteriormente hay que evaluar la presión del aire que se conectará a la tubería ya

existente, lo que lleva a tener en consideración los aparatos que ayuden con el aire por lo que se plantea escoger un compresor el cual brindará la presión necesaria del aire que ayudará lograr el objetivo, todo esto basándose en los catálogos ya existentes, para ocupar el equipo óptimo. Además esto debe cumplir con requisitos mínimos de caudal, presión y diámetros en viviendas como señala la Tabla 1.1, la cual se considera al momento de diseñar el sistema de agua, así como el de aire comprimido ya que se debe analizar la presión que tendrá la tubería de tal manera que el aire no afecte el material ni la demanda.

Para un correcto diseño del sistema de suministro de agua se debe tener en cuenta las recomendaciones mínimas para instalaciones, las cuales son:

- Si es un aparato sanitario diseñado para uso público se debe incrementar el caudal instantáneo en 1,67.
- Para instalaciones de agua calientes se debe considerar el caudal como el 67% del caudal de agua fría.
- Para hacer agilizar las reparaciones que necesitara el sistema se deben colocar llaves de corte.

1.1 Materiales para las tuberías de aire comprimido.

Dentro de los distintos materiales que podemos encontrar, hay unos que destacan por su serviciabilidad, y prestaciones del propio material, pero en este trabajo se analizarán los que están disponibles en Ecuador, como son: acero galvanizado, aluminio, acero inoxidable, cobre y plástico.

- **Acero Galvanizado**

Este tipo de tuberías está dentro de las más utilizadas debido a que es un material con el cual los trabajadores o técnicos están familiarizados. El revestimiento de galvanizado ayuda a prolongar la vida útil de la tubería y protege contra la corrosión.

Lo relacionado con la instalación necesita de fontaneros cualificados y herramientas como para corte, roscado y uniones, en caso de utilizar soldadura, se requiere un soldador especializado en este material ya que se debe tener mayor cuidado con el recubrimiento.

Este tipo de tubería genera una mayor fricción lo que perjudica en cuanto a la presión generando una caída de presión en la red, lo que hay que tener en cuenta al momento de dimensionar la misma (AtlasCopco, 2022).

La cobertura de galvanizado con el paso de tiempo puede presentar deterioro, generar escamas y desprenderse, lo que conlleva una obstrucción y puede generar altos riesgos de seguridad.

Otro punto importante de tener en cuenta con este tipo de material es la maniobrabilidad se torna un poco compleja ya que es un material pesado, lo que requiere un mejor sistema de suspensión y fijación (AtlasCopco, 2022).

- **Aluminio**

Este tipo de material tiene grandes prestaciones en cuanto a lo anticorrosivo, como el acero galvanizado, lo que tiene de ventaja es que es mucho más ligero lo que facilita los sistemas de suspensión y fijación y lo vuelve muy fácil instalar.

En relación con las pérdidas de carga estas se reducen ya que cuenta con un interior liso y resistente, lo que supera a las tuberías de acero galvanizado en cuanto a eficiencia y durabilidad (AtlasCopco, 2022).

Una ventaja de este sistema es que se puede reconfigurar las tuberías en caso de que crezca o se mueva.

- **Acero inoxidable**

Una de las principales características es que no tiene riesgo de corrosión o degradación tanto interior como exterior de tuberías que tienen este material. Diversas industrias a nivel global utilizan este tipo de tuberías como: farmacéuticas, hospitales, laboratorios de investigación, entre otros. Existen dos tipos de acero inoxidable que se ocupan, estos son el SS304L o SS316L (AtlasCopco, 2022).

- **Cobre**

Este metal tiene corrosión y tiene su simpleza a la hora de maniobrarlo, como su facilidad de cortar y soldar. Debido al uso frecuente de este material en el campo de la plomería a lo largo del tiempo en diversos espacios, hace que exista una gran variedad de accesorios (AtlasCopco, 2022).

- **PVC**

Este tipo de material no es el adecuado al momento de distribuir aire comprimido, por lo que no lo recomiendan los fabricantes. El uso de tubería de PVC en cualquier aplicación de aire comprimido es extremadamente peligroso ya que, cuando el aire se comprime dentro de las tuberías de PVC, este tiende a hincharse y explotar a alta presión, desprendiendo pedazos de material como si se tratara de una bomba (AtlasCopco, 2022).

También se debe considerar que este material sufre un deterioro con el paso del tiempo y se vuelve quebradizo.

Una vez teniendo en cuenta las propias recomendaciones de los fabricantes en cuanto a los usos y prestaciones que tiene los diferentes materiales de los que se puede componer la tubería, hemos logrado tener una elección que en este caso inclinaremos nuestra investigación hacia las tuberías de aluminio, ya que en la actualidad se están haciendo diversas investigaciones y avances en la utilización de esta tubería en diferentes campos.

Dentro del Ecuador si se han tenido en consideración este material para diversos proyectos, por lo que seguiremos las recomendaciones previas que existen, otro motivo por la cual utilizaremos este material es por el fácil acceso que se tiene a este y diversos accesorios necesarios para llevar a cabo una instalación de aire comprimido.

- **Tubería de termo fusión**

El surgimiento de una tubería de termo fusión fue una respuesta a la problemática en tener conexiones más fuertes, con mayor duración y confiables en cuanto a fontanería.

El uso de técnicas de fusión térmica en la unión de tuberías de plástico comenzó a ganar popularidad a medida que se desarrollaban nuevos materiales plásticos termoplásticos, como el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP), que son adecuados para este proceso. Estos materiales ofrecen una serie de ventajas sobre los materiales tradicionales, como el hierro fundido o el cobre, incluida una mayor resistencia a la corrosión, una vida útil mas larga y una instalación más rápida y económica (Shuan, 2018).

Esta técnica ha sido refinada y perfeccionada a lo largo de los años, con mejoras en la tecnología que se aplica en la termo fusión y en los materiales utilizados en las tuberías. Se han desarrollado

estándares y procedimientos específicos para garantizar la seguridad y la calidad de las uniones termo fundidas, lo que ayuda a difundir aún más su uso en una variedad de aplicaciones industriales, comerciales y residenciales; haciéndolo práctico para las personas dedicadas a este tipo de trabajos. Gracias a la constante evolución de la tecnología, tanto en maquinaria como materiales esta técnica ha ayudado a la innovación para satisfacer necesidades que cambian rápido en la infraestructura moderna (Guanilo-Briones, 2017).

El proceso estandarizado que se ha desarrollado para este tipo de trabajos, en calentar las superficies de las tuberías y luego unirlos presionando los extremos de ambas; es decir, por un lado, los accesorios y por otro la tubería, de tal manera que realizando este proceso continuamente se obtiene la red para obtener una conexión sólida y hermética. El calentamiento de estas se logra mediante el uso de una máquina especial, la cual contiene boquillas especiales con los diámetros adecuados para las tuberías y accesorios que se van a utilizar en la red, dando el espesor específico necesario para que sea todo continuo lo que evita pérdidas (Concha, 2014).

A continuación, se indica una representación del uso de esta técnica, así como un resultado.

Figura 1.1 Termofusora



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2 Calentamiento de los accesorios



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 Unión de los accesorios a presión



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.4 Unión de todos los accesorios que conforman un sistema



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que las tuberías de termo fusión brindan ciertas ventajas:

- **Uniones más fuertes:** la fusión térmica crea una unión sólida entre las tuberías, lo que reduce el riesgo de fugas y fallas en la unión, además el material es más resistente a torsión o a distintos esfuerzos que le puede ejercer, brindando mayor confianza a la hora de hacer los trabajos ya sea de reparación, instalación o remodelación.
- **Resistencia a la corrosión:** los materiales termoplásticos utilizados son resistentes a la corrosión, por lo que son adecuados para una variedad de aplicaciones, incluidas las que involucran agua potable tanto fría como caliente y aguas residuales.
- **Flexibilidad:** las tuberías de termofusión son flexibles y pueden adaptarse fácilmente a cambios en la topografía del terreno sin necesidad de juntas adicionales.
- **larga vida útil:** debido a su resistencia a la corrosión y su durabilidad, las tuberías de termofusión tienen una vida útil prolongada y requieren poco mantenimiento.
- **Instalación eficiente:** el proceso de termofusión permite una instalación rápida y eficiente de las tuberías, lo que puede reducir los costos laborales y minimizar el tiempo de inactividad en el sitio de construcción.

Las tuberías de termofusión se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas de distribución de agua potable, redes de alcantarillado, sistemas de riego agrícola, sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros. Su versatilidad, resistencia y eficiencia las convierten en una opción popular para una amplia gama de proyectos de construcción e infraestructura.

1.2 Estado del arte.

El aire comprimido es un tipo de energía que ha sido indispensable para la vida de los seres humanos, ya que muchos de los procesos y servicios que se han desarrollado a través de los años han ocupado este elemento, debido a que posee múltiples cualidades; entre las cuales está la disposición como fuente inagotable, de fácil transportación a largas distancias y almacenamiento tanto fijo como móvil, así también la temperatura no le afecta y es antideflagrante. Cabe mencionar que es una energía limpia ya que no contamina y no necesita tuberías de retorno (Duliep, 2002).

La aplicación de aire comprimido es a nivel universal debido a que es una energía muy versátil que se adapta a múltiples aplicaciones tanto en industrias como en servicios, además que brinda velocidades elevadas de trabajo especialmente en las de giro, las cuales no han sido superadas por ninguna otra fuente de energía. Esta fuente se utiliza para diferentes máquinas que funcionan en herramientas, equipos médicos, equipos de medición, aire respirable, trabajos de limpieza, procesos industriales, etc. (Duliep, 2002).

En la actualidad existen sistemas de aire comprimido que son accionados por motores y en el caso de los sistemas de riego y en las lavadoras de carros se ocupa un sistema de aire comprimido a través del cambio de diámetro en las tuberías de distribución, generando una mayor presión de agua para así cumplir tanto la demanda como la norma de construcción. Para obtener un buen diseño de aire comprimido se debe tomar en cuenta la red de distribución y un correcto dimensionamiento de los motores, de los cuales se considerarán los compresores, cámaras y bombas de aire. Estos son los más ocupado para una mayor distribución como es en fábricas, viviendas, hospitales, entre otros.

Según la NEC-11 menciona que la implementación de un sistema de bombeo e hidroneumático se realiza a partir de que la vivienda o edificación supere los 4 pisos, ya que la altura suministrada será menor de cero por lo que se requerirá la instalación de una bomba desde la planta baja. Cabe mencionar que la bomba se debe colocar en la planta baja o en el sótano, dependiendo del plano

arquitectónico que esté presente, así también se debe considerar que el motor generará ruido por lo que debe estar en una habitación aislada y fácil acceso para realizar cualquier operación manual y mantenimiento (NEC-11, 2011).

El tanque hidroneumático se ocupa para edificio de varias plantas, para mejorar el funcionamiento de la bomba, ya que este equipo ocupa agua y aire a presión en donde el aire está en contacto directo con el agua. Este sistema tiene ciertas funciones:

- Reduce al mínimo el golpe de ariete.
- Entrega agua según un rango de presión seleccionada para que la bomba de agua no corra sin parar.
- Prevenir que una bomba no empiece de nuevo cada vez que el sistema de distribución haga una pérdida menor de agua.

Estos tanques funcionan de mejor manera con un colchón de aire de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ la capacidad del tanque. El colchón disminuirá conforme el agua absorba el aire provocando que el tanque pierda su capacidad de presurizar el sistema, para evitar esto debe haber un sistema automático que rellenará el tanque de aire para que este no pierda su capacidad de presurizar (Sistemas de Control de Tanque Hidroneumático, 2011).

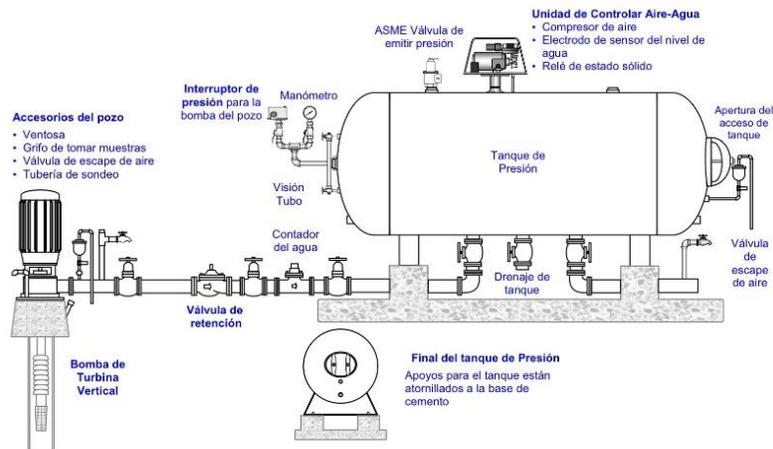
Un ejemplo, son las bombas para pozos y bombas de refuerzos las cuales en función con los tanques de presión trabajan para mantener la variación de presión consistente en el sistema. El tanque mantiene un circuito de bombeo en el rango requerido para evitar que se sobrecaliente el motor de la bomba y se produzca una falla prematura del motor (Sistemas de Control de Tanque Hidroneumático, 2011).

Estos tanques tienen un equipo hidroneumático, en el cual consta de una bomba al inicio del sistema, un tanque precargado, un tiple de cinco vías, un manómetro, un switch de presión y una manguera conectada al tanque y salida; las piezas fundamentales del equipo son: tanque, bomba y switch. El tanque es una cápsula, la cual tiene una membrana o globo el cual está comprimido por el aire que se aplica a través de una boquilla. La cantidad de aire depende del arranque-paro que tenga el equipo, en donde el estándar es de 20-40 o 30-50; es decir, si se tiene un tanque de 20-40 se aplica una presión de 18 lb de presión y en el caso de ser 30-50 se aplica 28 lb de presión. La

bomba del equipo está conformada por un motor eléctrico y un impulsor que tiene un kit de compresión de difusión e impulsor, el cual tiende a aumentar más la presión de un sistema convencional. En el caso del circuito cerrado el switch de presión funciona para activar los platinos que son los encargados de conducir la energía a la bomba para distribuir el aire comprimido del tanque a los diferentes servicios (Center, 2022). Existen dos tipos de tanques:

- **Tanque horizontal:** estos tanques van de 20, 50 y 100 Lt., los cuales tienen 20 psi de aire al arranque, esto se debe al tamaño del tanque. A su vez están conformados por una válvula de aire, membrana y agua (Como funciona tanque para hidroneumático, 2022).

Figura 1.5 Sistema de hidroneumático con tanque horizontal

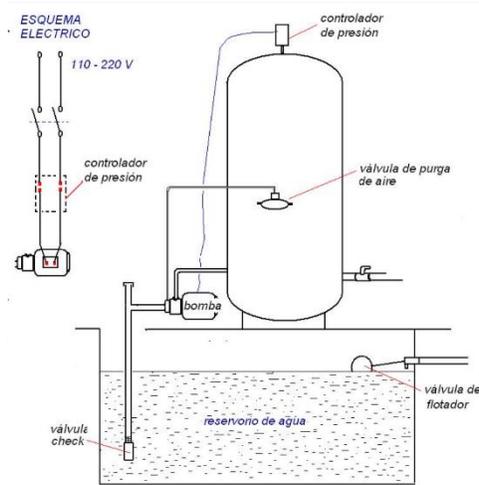


Fuente: Consejos Técnicos del agua potable Sistema de Control de Tanque Hidroneumático

- **Tanque vertical:** este tipo de tanque tiene un tamaño de 150, 200, 300 y 490 Lts., en donde la presión de aire se deja al arranque del motor con 2 psi por debajo del arranque.

A diferencia de un tanque horizontal estos pueden llegar a fallar, ya que el aire se puede escapar por la brida o por los tornillos; así como puede escaparse por la válvula debido a que los pivots se pueden llegar a aflojar, y la solución sería apretarlos (Como funciona tanque para hidroneumático, 2022).

Figura 1.6 Sistema de hidroneumático con tanque vertical



Fuente: Consejos Técnicos del agua potable Sistema de Control de Tanque Hidroneumático

Para ambos tipos de tanques se recomienda realizar un monitoreo anual de la presión de aire, así como es de suma importancia la calibración del equipo para que trabaje de manera adecuada. Cabe mencionar que, entre más grande el tanque menos trabaja el motor; sin embargo, la función del motor es recuperar la presión en el tanque (Como funciona tanque para hidroneumático, 2022).

1.3 Tecnología disponible en Ecuador.

Para llevar a cabo este proceso, se debe buscar las distintas alternativas que hay en la actualidad a disposición en el Ecuador; es decir, todo lo relacionado a tuberías, en cuanto a materiales y las distintas ventajas y desventajas entre ellos, así como la tecnología que genera a la compresión del aire, lo que estaría relacionado a compresores o bombas de aire.

1.3.1 Tecnología de aire comprimido

La utilización del aire comprimido tiene una relación mucho más extensa de lo que se puede considerar, debido a que en la actualidad se ocupa en actividades cotidianas como abrir bebidas con gas, impulsar maquinaria pesada, viajar en diversos medios de transporte, utilizar electricidad.

En este trabajo dará una ocupación más a este, dándole la oportunidad de mezclarse con el agua para poder aprovechar de mejor manera este recurso tan valioso.

Existen diversos medios para comprimir el aire como lo son compresores de aire, tanque, bombas, y cámaras de compresión.

- **Compresores de aire**

El funcionamiento de este se basa en la absorción del aire a través de una válvula de entrada, comprimir este al volumen deseado y descargarlo presurizado a un depósito a través de una válvula de salida (CompAir, n.d.).

Se encuentran dos tipos de compresores:

Desplazamiento positivo: Estos confinan el aire en un espacio reducido, generalmente mediante el movimiento de un dispositivo mecánico.

Desplazamiento dinámico: Este tipo de compresores aceleran el flujo de aire, la energía resultante de este proceso genera presión de aire.

Hay que tener en cuenta que la calidad del aire comprimido no debe ser afectada, ya que en este caso se mezclará para el consumo de agua, además este factor es muy importante para que la calidad del agua tampoco se vea afectada. Es por esta razón que existe diferentes normativas que definen lo que se considera aire limpio, la Organización Internacional de Normalización (ISO) recomienda dos clases para tener en cuenta ese factor de calidad del aire:

Clase ISO 1

Esta norma define criterios y limitaciones de contenido de contaminación y aceite en el aire generado, aunque sea clase 1 se requiere unos valores mínimos de contaminación y se puede considerar técnicamente exenta de aceite, no es la norma que garantiza mayor limpieza de aire (CompAir, n.d.).

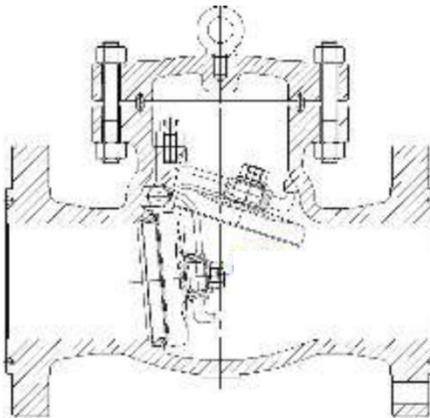
Clase ISO 0

En la clase tipo 0 se garantiza una pureza del aire al 100%. Esta es una nueva clasificación la cual se creó para dar respuesta a la demanda creciente de aire estéril comúnmente utilizado en la industria. Este se recomienda cuando la pureza del aire es esencial (CompAir, n.d.).

1.3.2 Conexiones

Para llevar a cabo esta aplicación, se debe tomar en cuenta una conexión de tal manera que la tubería de aire se conecte a la tubería de agua y así también considerar una mezcladora o un aparato o conexión que ayude a poder unir el agua con el aire comprimido sin que este sea absorbido (Ramírez, 2020). Por el motivo antes mencionado, se ocupará una válvula check o antirretorno como se indica en la Figura 1.7.

Figura 1.7 Válvula check



Fuente: Diseño de válvulas de impulso check para bomba de ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal.

La válvula tipo check tiene el mismo funcionamiento que una válvula de tipo tapón, la cual es de impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial que tiene que el peso de la válvula con el finde levantarlo. El área de flujo grande de la placa de entrega puede ser una ventaja, pero a su vez puede conducir un flujo de retorno grande, y esto se puede sumar a la presión diferencial requerida para abrirlo. Sin embargo, la válvula check tiene una diferencia con respecto a la válvula tipo tapón; el cual es poseer un cuerpo que protege a su sistema de funcionamiento. Esta válvula tiene un disco interno que está sellado y los asientos se apoyan en el retorno de los fluidos, mientras se oponen a la fuerza mecánica usada en estos dispositivos (Bedón & Navas, 2021). Cabe mencionar que tiene ciertas características como:

- No tiene perilla ya que pasa por una cámara interna que da el paso del agua en una sola dirección debido a que tiene una compuerta que evita un flujo de retorno.
- Evita el daño de envío de agua.
- Esta perilla puede ser de cobre, acero inoxidable y polímero.
- Las dimensiones vienen en pulgadas: ½ pulg, ¾ pulg, 1 ¼ pulg, 1 ½ pulg, 2 pulg, 4 pulg y 6 pulg.
- Su posición y sentido de funcionamiento puede ser horizontal, vertical o inclinado.

Para la selección de este dispositivo se deben considerar ciertos factores entre los cuales, los más importantes son: la compatibilidad con el medio al cual estará expuesta, la clasificación de la válvula, la medida de la línea, datos importantes del lugar de instalación; como el flujo, diseño y condiciones generales, tipo de instalación; vertical, horizontal, inclinada, el tamaño del sitio y el fin de las conexiones. Lo mencionado anteriormente es de suma importancia, para realizar un reemplazo evitando modificaciones generales o grandes en todo el sistema (Bedón & Navas, 2021).

El objetivo de una válvula antirretorno es lograr un flow arrow, hacia la dirección que va el flujo, para que este dispositivo funcione de manera correcta.

Por lo que es indispensable tener información precisa sobre el flow arrow, antes de realizar la instalación, de tal manera que se pueda determinar su posición y sentido de funcionamiento. Cabe mencionar que al instalar esta válvula en un punto crítico del sistema esta ayudará a la prevención del golpe de ariete (Bedón & Navas, 2021).

Se deben considerar ciertos puntos, los cuales son: la compatibilidad de fluidos, las características del caudal, la pérdida de carga, las condiciones del golpe de ariete y el costo total de la instalación. Se debe elegir la válvula respetando las características dependiendo de la instalación que se vaya a realizar para obtener en rendimiento óptimo.

- **Características del caudal:** el momento que la válvula cierra muy rápido la compuerta, evita el retorno del flujo y el golpe de ariete. Sin embargo, el dispositivo no queda exento de las ondas de presión causadas por el arranque y apagado de las bombas. Cabe mencionar

que el momento de abrir y cerrar rápidamente la válvula, se pueden producir sobretensiones ya que el flujo cambiará repentinamente (Ramírez, 2020).

- **Pérdida de carga:** el área de paso a través de la válvula se determina por la geometría del cuerpo de esta y el diseño del sistema de cierre, lo que a su vez afecta a la pérdida de carga que varía con la velocidad del fluido. De igual manera, la pérdida es afectada por las condiciones de flujo del sistema y la superficie interna de la válvula (Bedón & Navas, 2021).
 - **Pérdida de carga estática:** esta pérdida se debe a la diferencia de alturas del sistema de tuberías.
 - **Pérdida de carga por fricción:** se debe a la parte interna de las tuberías.
 - **Pérdida de carga total:** es la unión de la pérdida de carga estática y la pérdida de carga por fricción. Posteriormente, se indicarán las fórmulas y el cálculo de esta. El coeficiente más común es el del caudal de agua que pasa por la válvula, para determinar una pérdida de carga específica en un periodo de tiempo determinado. Sin embargo, el coeficiente de resistencia K_v es la mejor opción, para realizar comparaciones.

CAPITULO 2

2 Modelo físico y modelos de cálculo para la aplicación de un sistema presurizado en el edificio de Ciencia y Tecnología.

La Universidad Autónoma de Nuevo León menciona que: el modelo físico es una fase importante en este proyecto debido a que se aplica para tener una representación de cómo se desplegarán los componentes. Esto a su vez es un mapa específico del sistema para obtener datos en donde se representarán los diferentes resultados y obtener una conclusión con respecto a la hipótesis del proyecto a analizar. En la ingeniería civil un modelo físico es una estructura a escala reducida para estudiar su comportamiento, de tal manera que al evaluar su funcionamiento se pueda corregir o perfeccionar el diseño del modelo (UANL, 2024).

Los modelos matemáticos son herramientas matemáticas tales como álgebra, cálculo diferencial e integral para comprender las diferentes áreas de la ingeniería civil como estructuras, vías, hidráulica y suelos. En adhesión, las herramientas proporcionan resultados que serán indispensables para el diseño y la construcción de un modelo. Cabe mencionar que estos son utilizados para analizar la relación entre una o más variables (UANL, 2024).

La relación entre un modelo físico y de cálculo es que pueden ayudar a predecir el valor de las variables y funcionamiento a largo plazo, dependiendo del objetivo y diseño que se quieren cumplir en el plan de estudio. En el presente proyecto se evaluarán los datos obtenidos en el modelo físico para que posterior a esto, se realicen los modelos de cálculos y analizar la optimización del sistema presurizado que busca la mejora del consumo de agua potable en un edificio.

2.1 Desarrollo de modelo físico

Se llevará acabo un modelo físico en el cual se realizará la simulación de un punto de agua, que será un grifo, en el cual se implementará un sistema presurizado con un compresor para evaluar la mejora del consumo de agua potable en el edificio. A través del cual se obtendrán datos que se ocuparán para realizar los cambios de variables y cálculos pertinentes en el diseño ya existente del sistema convencional.

2.1.1 Materiales

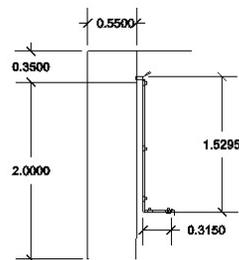
Los materiales que utilizaremos para realizar el modelo físico son:

- Un tanque de agua.
- 5 conexiones tipo T.
- 3 conexiones tipo Y a 45°.
- 3 codos.
- Estante de 2 m de altura.
- 1 llave de $\frac{1}{4}$ de giro.
- 1 grifo.
- 1 válvula check o antirretorno.
- Recipiente para recolectar el agua.
- Compresor de 24 L, 2 HP.
- Modulador de presión.
- 3 m de tubería de $\frac{1}{2}$ pulg.

2.1.2 Procedimiento

- Realizar un diseño del modelo físico en AutoCad 3D.

Figura 2.1 Medidas constructivas de modelo físico



- Tanque, 0.55m x 0.35m x 0.31 m
- 5 t, y 45°
- 3 m de tubería $\frac{1}{2}$ "
- Estante de 2 m
- 1 llave $\frac{1}{4}$ de vuelta
- 1 Grifo

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.2 Diseño de modelo físico 3D en AutoCad



Fuente: Elaboración propia

- Construir un estante de madera con una altura de 2 m y una vez finalizado se coloca el tanque en la parte superior.

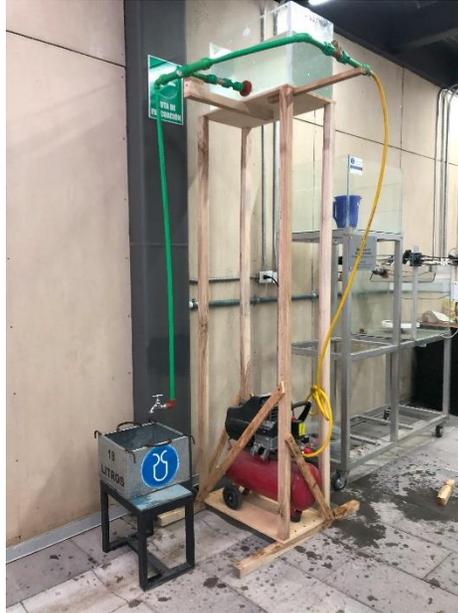
Figura 2.3 Estante de madera 2 m y tanque de vidrio



Fuente: Elaboración propia

- Instalar una conexión directa desde el tanque hacia el grifo dejando una altura de 50 cm desde el suelo.

Figura 2.4 Conexión directa desde el tanque hasta el punto de salida (grifo)



Fuente: Elaboración propia

El sistema de aire comprimido y agua potable se mezclan a través de un Manifold ya que se busca combinar el aire y agua para que no existan los conocidos golpes de ariete, lo que evita tener burbujas en el sistema proporcionando un flujo continuo de agua. A continuación, se explica en que consiste el Manifold.

Basado según Alan J. Izenman, el Manifold se define en español como múltiple. En la actualidad una investigación en aprendizaje de estadísticas y maquinaria da a conocer el “Manifold Learning” o en español como “Aprendizaje múltiple”, que está relacionado a técnicas logarítmicas de reducción dimensional. Manifold learning se puede dividir en métodos lineales y no lineales. Los métodos lineales han sido una parte muy extensa de las herramientas de los estadísticos para el análisis de datos multivariados, análisis de la componente principal (PCA) y el escalado multidimensional (MDS). En el caso de los métodos no lineales se incluye isomapa, incrustación local lineal, mapas propios Laplacianos, mapas propios de Hesse y difusión de mapas. Algunas de estas técnicas son generalizaciones no lineales de los métodos lineales. Los procesos algorítmicos de estas técnicas consisten en tres pasos: búsqueda cercana-vecina, una definición de distancias o

afinidades entre puntos y un problema propio de incorporación de puntos en alta dimensión en un espacio de menor dimensión (Izenman, 2012).

Este proyecto toma como referencia el método lineal ya que desde el año 2000, las técnicas de reducción dimensional se enfocan en un manifold lineal. Un manifold lineal es una línea, un plano o un hiper plano; dependiendo del número de dimensiones que estén involucradas (Izenman, 2012).

Una acotación con respecto al manifold es que tiene diferentes caminos con respecto a la percepción, la cual ha sido estudiada desde hace dos milenios y medio, el filósofo griego Heráclito observó que el mundo está en un flujo infinito, ya que escribió que nunca se puede estar en el mismo río dos veces. Poniendo como ejemplo de que, si él viviera en la actualidad, trabajara como psicólogo y diría que no se puede ver la misma cara dos veces (Seung & Lee, 2000).

Lo mencionado anteriormente, es una acotación referente al manifold en una percepción visual, debido a que una imagen se verá diferente debido a la luz y ángulo desde que el individuo la observe. Esto se debe a que la célula retina receptora lleva señales desde los ojos hacia el cerebro a través de ejes continuos en el nervio óptico continuamente cambiantes. Este misterio fundamental de la percepción ha sido una intriga no solo para los científicos sino para los ingenieros quienes anhelan en construir una máquina de visión que iguale la interpretación humana del reconocimiento visual de un objeto. Para confirmar la característica de la variabilidad de imágenes u otro estímulo perceptual, es esencial realizar un procedimiento matemático. Una imagen puede considerarse una colección de números, en donde cada especificación de intensidad de luz es un píxel de imagen; sin embargo, una colección de números también especifica las coordenadas cartesianas de un punto con respecto a ciertos ejes. Cabe mencionar que cualquier imagen se puede identificar con un punto en un espacio abstracto de la imagen (Seung & Lee, 2000).

Obtenida la información indicada con respecto al Manifold, este se implementa en el sistema a través de la variación de diámetros en donde se forma un área que encierra en un espacio pequeño el agua y el aire para posterior a ese paso el agua pueda dirigirse con mayor presión evitando el golpe de ariete.

Debido a la presión que se genera en el sistema se cambió el material de la tubería, la cual es termo fusionada ya que tiene una mayor resistencia a la presión así también se cambió el material del tanque por un tanque de plástico con una capacidad de 15 galones.

Figura 2.5 Modelo rediseñado



Fuente: Elaboración propia

- Una vez elaborado el sistema se realizan las diferentes pruebas y toma de datos.

2.2 Aplicación del sistema presurizado

Para llevar a cabo las diferentes pruebas se consideran múltiples opciones con respecto a la posición del tanque y de la tubería, simulando un tanque en la parte superior, un tanque en la parte inferior y un tanque de reserva sin sistema de bombeo.

2.2.1 Aplicación del sistema con tanque a 2 metros de altura

Se realizan toma de datos en un sistema donde se simula que el tanque se encuentra en la parte superior con una altura 2m como se indica en la Figura 2.5, el mismo que tendrá pruebas en donde se considera sin flujo uniforme y con flujo uniforme. De igual manera se toma en cuenta el sistema antes de implementar aire comprimido y con aire comprimido para realizar una comparación.

Cabe mencionar que en cada prueba se toman varios datos para obtener un promedio en cada una de estas como se indica en la ecuación 2.1.

$$\bar{X} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)}{n}$$

ecuación 2.1 Promedio

- Prueba 1: Sin aire comprimido y flujo continuo

Tabla 2.1 Prueba 1 Sin aire comprimido, sin flujo continuo

Prueba 1	
Sin aire comprimido y sin flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	8.6
	8.4
	8.47
	8.69
	9.13
	8.56
	8.62
	8.7
	8.47
	8.46
	8.52
	8.51

Fuente: Elaboración propia

- Prueba 2: Con aire comprimido y sin flujo continuo

Tabla 2.2 Prueba 2 Con aire comprimido, sin flujo continuo

Prueba 2	
Con aire comprimido y sin flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	7.55
	7.72
	7.38
	7.7
	6.24
	7.7
	7.72
	7.78
	7.86
	7.66
	7.59

Fuente: Elaboración propia

- Prueba 3: Sin aire comprimido y con flujo continuo

Tabla 2.3 Prueba 3 Sin aire comprimido, con flujo continuo

Prueba 3	
Sin aire comprimido y flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	8.88
	8.93
	9.12
	9.38
	9.05
	8.83
	9
	9.81
	8.67
	8.87
	8.71

Fuente: Elaboración propia

- Prueba 4: Con aire comprimido y flujo continuo

Tabla 2.4 Prueba 4 Con aire comprimido, flujo continuo

Prueba 4	
Con aire comprimido y flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	7.45
	7.32
	6.68
	7.2
	6.4
	7.95
	6.99
	7.41
	7.54
	7.34
	7.24
	7.49

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Aplicación del sistema con tanque a nivel del suelo

Figura 2.6 Sistema con tanque a nivel del suelo



Fuente: Elaboración propia

- Prueba 5: Sin aire comprimido y flujo continuo

En esta prueba no se obtuvo datos, debido a que el tanque estaba en la parte inferior y no había fuerza atmosférica y el aire generaba mayor presión que el agua dando como consecuencia que la tubería se llene de aire.

- Prueba 6: Con aire comprimido y sin flujo continuo

Al momento que se le ingresa aire comprimido al sistema de agua que no posee presión, el agua llega al punto de salida, pero con una presión por debajo del mínimo según la norma NEC en la Tabla 1.1 por lo que se demuestra que al implementar aire comprimido en un sistema sin presión de agua a nivel del suelo se puede tener un consumo mínimo de agua.

- Prueba 7: Sin aire comprimido y con flujo continuo

Para esta prueba se realizó una conexión directa desde la toma de agua hasta el sistema.

Tabla 2.5 Prueba 7 Flujo continuo, sin aire comprimido

Prueba 7	
Sin aire comprimido y flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	4.63
	4.95
	5.3
	4.93
	5.03
	5.03
	3.93
	5.98
	4.03
	4.33
	4.4
	4.73

Fuente: Elaboración propia

- Prueba 8: Con aire comprimido y flujo continuo

Al igual que en la prueba anterior la conexión de agua es directa.

Tabla 2.6 Prueba 8 Flujo continuo, con aire comprimido

Prueba 8	
Con aire comprimido y flujo continuo	
Q (l)	t(s)
1	3.05
	2.6
	2.72
	2.21
	2.36
	2.6
	2.64
	2.59
	2.26
	2.68
	2.58
	2.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.7 Promedio de datos obtenidos en cada prueba

Promedios obtenidos de las pruebas (s/l)							
Prueba1	Prueba 2	Prueba3	Prueba4	Prueba5	Prueba6	Prueba7	Prueba8
8.5942	7.5364	9.0227	7.2508	Resultado conceptual		4.7725	2.5567

Fuente: Elaboración propia

2.3 Modelo de cálculo

Para realizar el modelo de cálculo se consideran varios parámetros como son: la demanda/consumo, diámetros comerciales, acometida, entre otros.

2.3.1 Parámetros de diseño

- **Cálculo de demanda/consumo**

- Consumo de agua: es la cantidad de agua distribuida y real que se mide en un área determinada (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).
- Demanda de agua: es la dotación de agua; es decir, es la cantidad de agua estimada que será distribuida (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).

$$q_m = f * Población * Dotación \quad \text{ecuación 2.2 Demanda}$$

Donde,

q_m : Caudal medio [lt/s] [m3/s]

f : Factor de pérdidas

Población (hab)

Dotación (lt/hab*día)

- Caudal máximo diario:

$$Q_{max,d} = K_{MD} * q_m \quad \text{ecuación 2.3 Caudal máx. diario}$$

- Caudal máximo horario:

$$Q_{max,h} = K_{MH} * q_m \quad \text{ecuación 2.4 Caudal máx. horario}$$

Donde,

Qmax, d: para macrodistribución (conducciones)

Qmax, h: para microdistribución (redes de distribución)

- **Conservación de la energía**

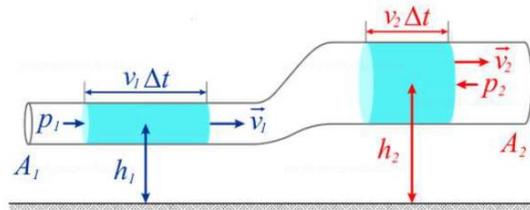
Se ocupa la ecuación de la energía por unidad de peso.

$$\frac{\text{Energía}}{\text{Peso}} = \frac{N \cdot m}{N} = m(\text{m. c. a.}) \quad \text{ecuación 2.5 Conservación de la energía}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{ecuación 2.6 Benoulli}$$

En la Figura 2.7, se indican las alturas, velocidades con respecto a la variación de tiempo y áreas.

Figura 2.7 Representación gráfica, ecuación de Benoulli



Fuente: Agua Potable, Redes de distribución

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_G - H_F = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{ecuación 2.7 Benoulli, Energías}$$

Donde,

Hg: energía añadida de bombas

Hf: energía perdida o pérdidas

- Línea de energía o de altura total: la energía en cada sección se representa gráficamente, esta tiene pendiente negativa excepto donde se aplica energía mediante dispositivos

mecánicos como es en este caso una bomba y un compresor como se expresa en la ecuación 2.7 (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).

- Línea piezométrica: es la energía de presión más la de posición representadas, la misma se encuentra por debajo de la línea de energía (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).

- **Pérdidas de carga**

Existen dos tipos de pérdida de carga: fricción y por accesorios.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - h_f - h_{acc} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{ecuación 2.8 Bernoulli, pérdidas}$$

Las pérdidas por accesorios tienen la forma:

$$h_{acc} = k \frac{v^2}{2g} \quad \text{ecuación 2.9 Pérdidas por accesorios}$$

Cuando $L \geq 1000 D$, puede despreciarse las cargas de velocidad. Se ocupa la ecuación 2.7 sin considerar la energía de una bomba (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).

Por lo tanto, se considera que,

$$P = \frac{p}{\gamma} = \frac{\gamma h}{\gamma} \quad \text{ecuación 2.10 Pérdida}$$

Y se obtiene,

$$P_f = P_0 + (z_1 - z_2) \quad \text{ecuación 2.11 Pérdida por fricción}$$

- Ecuaciones de pérdida por fricción

Depende de la longitud, el caudal, diámetro de la tubería y un factor de fricción en función del material.

Darcy-Weisbach

$$hf(m) = f \frac{L(m)}{D(m)} \left(\frac{v^2 \left(\frac{m^2}{s^2} \right)}{2g \left(\frac{m}{s^2} \right)} \right) \quad \text{ecuación 2.12 Darcy - Weisbach}$$

$$hf = f \frac{L * v^2}{D * 2g} = Cte * L * \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{ecuación 2.13 Darcy - Weisbach}$$

Hazen-Williams

$$hf(m) = \frac{10,667 * L(m)}{D^{4,87}} \left(\frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{C} \right)^{1,852} \quad \text{ecuación 2.14 Hazen - Williams}$$

- Ecuaciones Hazen Williams

Pérdida: $hf = \frac{10,667L}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad \text{ecuación 2.15 Pérdida, Hazen Williams}$

Pérdida unitaria:

$$\left(\frac{hf}{L} \right) = \frac{10,667}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad \text{ecuación 2.16 Pérdida unitaria, Hazen - Williams}$$

Hazen-Williams

$$\left(\frac{hf}{L} \right) = \frac{10,667}{C^{1,852}} \left(\frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} \right) \quad \text{ecuación 2.17 Hazen - Williams}$$

$$\left(\frac{hf}{L} \right) = Cte \left(\frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} \right) \quad \text{ecuación 2.18 Hazen - Williams}$$

La ecuación 2.17, considera un criterio de diseño de 7-12 m/km

Darcy-Weisbach

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = Cte\left(\frac{Q^2}{D^5}\right) \quad \text{ecuación 2.19 Darcy - Weisbach}$$

Los diámetros comerciales por considerar para los parámetros de diseño son:

Tabla 2.8 Diámetros comerciales

Diámetros comerciales	
63	mm
90	mm
110	mm
160	mm
200	mm
250	mm
315	mm

Fuente: Agua Potable

- **Población**

Se debe proyectar la población actual para la ecuación 2.2, en base a la tabla y ecuación.

$$P_f = P_a(1 + r)^n \quad \text{ecuación 2.20 Población}$$

Tabla 2.9 Factor r, región geográfica

Región Geográfica	r (%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Fuente: Agua Potable

- **Dotación**

Se basa en el nivel de servicio como se indica en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Nivel de servicio

Nivel de servicio	Clima frío (1/hab*día)	Clima cálido (1/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
Iib	75	100

Fuente: Agua Potable

Tabla 2.11 Dotación media futura

Población (habitantes)	Clima	Dotación media futura (1/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Fuente: Agua Potable

- **Mayoración**

Se ocupan las ecuaciones del caudal máximo horario y diario, que se indican en la ecuación 2.3 y ecuación 2.4 donde se ocupa un factor de mayoración KMD y KMH, respectivamente.

El factor de mayoración máximo diario (KMD) tiene un valor de 1.25 (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

El factor de mayoración máximo horario (KMH) tiene un valor de 3 (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

2.3.2 Criterios de diseño

Se debe considerar que en ocasiones las presiones inicial y final serán las misma o cero por lo que se obtiene la siguiente ecuación.

$$h_f = (z_1 - z_2) \quad \text{ecuación 2.21 Presiones}$$

La siguiente tabla indica la cantidad de agua que se puede transportar por una tubería dependiendo el diámetro.

Tabla 2.12 Cantidad de agua que se transporta, diámetro de tubería

Diámetro de tubería		Cantidad	
63	mm	2.1	l/s
90	mm	5.4	l/s
110	mm	9.1	l/s
160	mm	24.3	l/s
200	mm	43.7	l/s
250	mm	78.7	l/s
315	mm	144.4	l/s

Fuente: Agua Potable

- **Tuberías**

Se verifica la capacidad de transporte. (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

- Velocidad máxima admisible: 3-4 m/s
- Velocidad mínima: 0.3 m/s
- Diámetro mínimo (OM): 63mm
- Perdida unitaria: 7-12 m/km, lo recomendado es 10 m/km

- **Nodos**

Se verifica presión. (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

- Presión mínima en RD: 10-20 mca, se recomienda 20 mca
- Presión máxima en RD: 50-70 mca, se recomienda 50 mca
- Presión mínima en macro distribución: 3-5 mca

- **Sectores de distribución**

Una red de distribución de agua potable depende del número máximo de acometidas domiciliarias o de condiciones topográficas para dividirse. Cabe mencionar que es conveniente dividir la red en zonas de presión cuando el desnivel es muy grande. (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

Se recomienda que una zona de presión no exceda los 50 m.c.a.; a su vez que un tanque no sirva a más de tres zonas de presión (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022).

La siguiente es una regla practica (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022):

$$H(\text{máx}) < \text{cota del consumidor más alto} + P_{\text{min}}$$

$H(\text{mín}) > \text{cota del consumidor más bajo} + P_{\text{máx}}$

Donde,

$P_{\text{mín}}$: presión mínima aceptable

$P_{\text{máx}}$: presión máxima aceptable

- **Tanque de reserva**

Se considera un volumen de regulación, contraincendios y de emergencia. Además, la capacidad de almacenamiento debe ser 50% del volumen medio diario futuro. (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

En ningún caso, el volumen de almacenamiento será inferior a 10 m³ en el sector rural. Mientras que, en el sector urbano con poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25%. (Larriva, Agua Potable 2.5, 2022)

Para calcular el volumen necesario se ocupa la siguiente ecuación:

$$V_{st} = V_{eq} + V_{em} + V_{fire} [m^3] \quad \text{ecuación 2.22 Volumen}$$

Donde,

V_{st} : total de la reserva

V_{eq} : para equalizar el caudal de entrada y de salida

V_{em} : reserva para emergencia [$\sim 0.25V_{eq}$]

V_{fire} : reserva contra incendios [$\sim 100 \cdot \sqrt{p}$ m³]

2.3.3 Conceptos de las instalaciones sanitarias

Para realizar las instalaciones internas de un edificio se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Permitir rápido escurrimiento de los desechos y fáciles de obstrucciones.
- Impedir el paso de gases de las canalizaciones hacia el interior de los edificios.
- No permitir fugas, escapes de gases o la formación de depósitos en el interior de las canalizaciones.

- Impedir la contaminación del agua potable de consumo interno.

Para este proyecto se toma como criterio principal el impedimento de la contaminación del agua potable interno, ya que el sistema presurizado se evaluará en conexión a este (Larriva, Alcantarillado Sanitario, 2022).

- **Red de evacuación**

La red de evacuación consta de las tuberías de evacuación, los sifones o trampas y las tuberías de ventilación. Para la ventilación se trata de que los baños estén en espejo para que la longitud no sea demasiado grande, también depende de la pendiente que se ocupe (Larriva, Alcantarillado Sanitario, 2022).

El conjunto de tuberías de evacuación puede dividirse en tres partes:

- Derivaciones: enlazan los aparatos sanitarios con las columnas o bajantes, que deben tener un diámetro entre 2 a 4 pulgadas con una pendiente mínima de 2%.
- Columnas o bajantes: son tuberías de evacuación vertical.
- Colectores: tuberías horizontales que se encargan de recoger el agua al pie de las columnas y la llevan a la red de alcantarillado público o exterior. Deben tener un diámetro de 6 pulgadas y una pendiente mínima de 1% (Larriva, Alcantarillado Sanitario, 2022).

- **Unidad de descarga**

Está definida en forma convencional correspondiente a la descarga de agua residual de un lavabo común en uso doméstico, que corresponde a un caudal de 20 litros por minuto (Larriva, Alcantarillado Sanitario, 2022).

Esta unidad de descarga constituye la referencia para estimar las descargas de todos los demás muebles, accesorios o aparatos sanitarios; ya que evita que los gases se regresen (Larriva, Alcantarillado Sanitario, 2022).

Para la estimación de las descargas se adoptan los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 2.13 Valores de descarga por aparato y uso

Aparato	Uds (Edificio Uso Privado)	Uds (Edificio Uso Público)
Lavabo	1	2
Bidé	2	3
Ducha	2	3
Bañera	3	4
Inodoro	4	5
Urinario	4	4
Fregadero	3	6
Lavadero	3	3
Fuente	0.5	0.5
Lavaplatos	3	6
Lavadora	3	6
Desagüe de local húmedo	2	4
Desagüe de garaje	2	4

Fuente: Alcantarillado, Instalaciones en edificios

Tabla 2.14 Derivación en colector; Número máximo de unidades de descarga

Derivación en colector		Número máximo de unidades de descarga			
mm	pulg.	Derivación horizontal s=0	Pendiente		
			1/100	2/100	3/100
32	1 1/2	1	1	1	1
38	1 1/2	2	2	2	2
50	2	4	5	6	8
63	2 1/2	10	12	15	18
75	3	20	24	27	36
100	4	68	84	96	114
125	5	144	180	234	280
150	6	264	330	440	580
200	8	696	870	1150	1680
250	10	1392	1740	2500	3600
300	12	2400	3000	4200	6500
350	14	4800	6000	8500	135000

Fuente: Alcantarillado, Instalaciones en edificio

Una forma de facilitar el proceso constructivo es usar ciertos diámetros comerciales, como indica a continuación:

- 50 mm: en tramos con menos de 7 unidades de descarga de aporte, acometidas de aparatos individuales a los colectores.
- 110 mm: colectores de plantas, bajantes de aguas lluvias y aguas servidas, columnas de ventilación e inodoros.
- 160 mm: planta baja, conexión desde el pozo de revisión hasta el pozo domiciliario.

Tabla 2.15 Diámetros de las Columnas de Descarga

# Unidades de Descarga	Diámetro Mínimo
1	1
4	1 1/2
7	2
13	2 1/2
24	3
192	4
432	5
742	6

Fuente: Alcantarillado, Instalaciones en edificios

- **Sistemas de distribución**

La red de distribución interna debe ser alimentada desde la red pública de distribución cuando las condiciones de caudal, presión y continuidad lo permitan. Por lo contrario, se emplearán sistemas alternativos (Larriva, Agua Potable 4.1, 2022).

- Sistema de distribución directa: la red de distribución será alimentada directamente desde la red pública, por lo que es de interés el impedir flujos inversos hacia la red pública. Esta alimentación de la red se realizará desde reservorios (Larriva, Agua Potable 4.1, 2022).
 1. Por gravedad: la alimentación se realizará desde el reservorio superior.
 2. Con hidroneumático: la alimentación se realizará desde un reservorio inferior con presión obtenida de un sistema hidroneumático.
 3. Mixto: la alimentación será a gravedad y con hidroneumático.

- **Gastos por aparatos HS**

En la red interna de una vivienda se consideran los diámetros comerciales de 1", 3/4" y 1/2". El dimensionamiento de la red principal y ramales secundarios, se lo realizan mediante la asignación de pesos a los diferentes puntos y el caudal se determina mediante la ecuación 2.23 (Larriva, Agua Potable 4.1, 2022).

$$Q = C * \sqrt{\sum P} \quad \text{ecuación 2.23 Caudal}$$

Donde,

Q: caudal en l/s

C: coeficiente de descarga = 0.25 l/s

$\sum P$: suma de los pesos correspondientes a todas las piezas de utilización alimentadas a través del tramo considerado.

Los caudales del proyecto de los puntos de utilización a ser considerados en el diseño de los subramales se indican en la Tabla 2.16 (Larriva, Agua Potable 4.1, 2022).

Tabla 2.16 Caudal, peso por aparato HS

Descripción	Caudal (l/s)	peso
Tina de baño	0.3	1.0
Inodoro	0.1	0.3
Lavadora de ropa	0.25	1.0
Fregadero de cocina	0.3	1.0
Ducha	0.2	0.5
Grifo de Garaje	0.3	1.0

Fuente: Agua Potable, Instalaciones en edificios

- **Pérdidas de carga**

Para realizar el cálculo de las pérdidas de carga se ocupa el método de longitud equivalente para accesorios (L_e/D) el cual permite al usuario describir la pérdida de presión a través de un codo o un accesorio con una longitud de tubería recta, es decir que, todos los accesorios como tees, codos, válvulas, etc., se pueden resumir en una longitud total la cual se ocupa para calcular la pérdida de presión en dichos puntos (Larriva, Agua Potable 4.2;4.3, 2022).

Tabla 2.17 Tipos de accesorios, longitud equivalente (Le/D)

Fitting Type	Le/D
Gate valve, full open	8
Ball valve, full bore	3
Ball valve, reduced bore	25
Globe valve, full open	320
90° screwed elbow	30
90° long radius bend	13
45° screwed elbow	16
45° long radius bend	10
Welded Tee, thru-run	10
Welded Tee, thru-branch	60

Fuente: Agua Potable, Instalaciones en edificios

- **Acometida y medidores**

Se debe tomar en cuenta la siguiente información de la infraestructura en la que se va a realizar la instalación del proyecto hidrosanitario.

- Diámetro de la obra de infraestructura de agua potable para la conexión.
- Presión de servicio en la red para el abastecimiento.

Una vez obtenidos los puntos anteriores se calcula el caudal de la acometida domiciliaria.

Tabla 2.18 Cálculo acometida domiciliaria

CALCULO DE ACOMETIDA DOMICILIARIA								
Descripción	Caudal requerido	Velocidad óptima	Diámetro calculado		Diámetro comercial		Diámetro interno	Velocidad real
	l/s	m/s	m	mm	DN mm (exterior)	pulgadas (interior)	mm	m/s
ACOMETIDA PRINCIPAL MEDIDOR GENERAL	0.5	1.5	0.021	20.60	32	1	25.4	0.99

Fuente: Agua Potable, Instalaciones en edificios

Cuando el sistema es indirecto se escoge un tiempo de llenado de la cisterna para calcular el diámetro de la tubería. A continuación, se indica un ejemplo de cómo queda el cálculo de un sistema indirecto.

Tabla 2.19 Cálculo de Cisterna

CISTERNA	
Volumen requerido (m ³)	4.2
Tiempo de llenado (horas)	6
Caudal de llenado (lts/seg)	0.19

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

Tabla 2.20 Dimensionamiento de tubería de llenado de la cisterna

Dimensionamiento de tubería de llenado de la cisterna		
Caudal	0.19	lt/seg
Diámetro	12.7	mm
Velocidad de flujo	1.53	m/s
Longitud	28	m
Longitud equivalente, accesorios	0.91	m
Longitud total	28.91	m
Pérdidas de carga unitaria	0.28	m/m
Pérdidas de carga total	8.17	m
Presión en la red pública	40.00	m.c.a.
Presión remanente	31.83	m.c.a.

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

- Control de consumos

Para los edificios que tienen varias plantas es importante tener un medidor general y medidores individuales para controlar el consumo de agua, estos pueden ser de tipo velocidad. La capacidad de los medidores debe estar sujeta a cubrir los probables consumos simultáneos máximos, siendo estos los correspondientes caudales de diseño (Larriva, Agua Potable 4.2;4.3, 2022).

Para calcular la pérdida de carga se ocupa la siguiente ecuación:

$$J = \left(\frac{Q_d}{Q_n}\right)^2 * 10 \quad \text{ecuación 2.24 Pérdida de carga}$$

Donde,

Q_d: caudal de diseño [m³/h]

Q_n: caudal nominal [m³/h]

J: pérdida [m.c.a.]

Tabla 2.21 Dimensionamiento del medidor

Máximo Diario (m3/hora)	Máximo Probable (l/s)	Máximo Diario (l/min)	Diámetro medidor	
			(mm)	(pul)
3	0.83	50	13	1/2"
5	1.33	80	18	3/4"
7	1.95	117	22	1"
20	5.55	333	38	1 1/4"
30	8.33	500	50	2"

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

- **Volumen de la cisterna**

La reserva se dimensiona según la dotación que atenderá a la población total en un edificio.

Tabla 2.22 Consumo según local

Local	Consumo (lt/per cápita)
Alojamiento provisional	80
Casas rurales	120
Residencial	150
Apartamentos	200
Hotel (sin cocina y sin lavandería)	120 (por huésped)
Hospitales	250 (por cama)
Escuelas (internados)	150
Edificios públicos o comerciales	50
Oficinas	50
Cines - Teatros	2 (por silla)
Templos	2 (por silla)
Restaurantes y similares	25
Mercados	5 (por m2 de área)
Jardines	1 (por m2 de área)

Fuente: Agua potable, Instalaciones de edificios

Se debe ocupar una tabla según el tipo de acusación de las diferentes áreas de servicio, para el cálculo de la población y dimensionamiento del número mínimo de aparatos sanitarios.

Tabla 2.23 Tasa de ocupación, local

Local	Tasa de ocupación
Oficinas	1 persona / 5 m2 de área
Museos - Bibliotecas	1 persona / 5.5 m2 de área
Restaurantes	1 persona / 1.4 m2 de área
Teatros - Cines	1 persona / 0.70 m2 de área
Edificios públicos (plantas bajas)	1 persona / 2.50 m2 de área
Edificios públicos (plantas altas)	1 persona / 5 m2 de área

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

- **Sistema hidroneumático**

Para saber que hidroneumático se necesita en un edificio se debe calcular la potencia mediante la siguiente ecuación.

$$Potencia = \frac{G * Q * H}{75 * n} \quad \text{ecuación 2.25 Potencia}$$

H=altura física + presión mínima+ pérdidas de carga ecuación 2.26 Altura

Donde,

G: 1000 Kgf/m3

Q: caudal [m3/s]

H: altura mts.

n: rendimiento del conjunto motor-bomba

Potencia (HP)

Tabla 2.24 Tipo de bomba

Tipo de bomba	Rendimiento recomendado
Muy pequeñas	0.4
Pequeñas (menor 2HP)	40%-60%
Medianas (2HP-5HP)	70%-75%
Grandes	0.8

Fuente: Agua potable, instalaciones en edificios

Para una potencia calculada se ocupan los siguientes incrementos.

Tabla 2.25 Potencia calculada

Potencia calculada	Incremento
Menor a 2HP	50%
2HP-5HP	30%
5HP-10HP	20%
10HP-20HP	15%
Mayor a 20HP	10%

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

- Volumen del tanque

Los hidroneumáticos de membrana sobre presionados inicialmente no necesitan compresor, por lo que se ocupa la siguiente ecuación para el cálculo del volumen útil (Larriva, Agua potable 4.5, 2022).

$$Vu = \frac{0.8 * Vt(Pm - Pn)}{(Pm + 1)} \quad \text{ecuación 2.27 Volumen útil}$$

Donde,

Vu: volumen útil [lts]

Vt: volumen total [lts]

Pm: presión máxima de desconexión [atm]

Pn: presión de arranque [atm]

Volumen de seguridad

$$Vr = 0.2 * Vt \quad \text{ecuación 2.28 Volumen de seguridad}$$

Volumen de aire

$$Vm = Vt(Vu + Vr) \quad \text{ecuación 2.29 Volumen de aire}$$

Los accesorios mínimos que se instalan son: manómetro, presostato, válvula de seguridad, dispositivo para reposición de aire e instalaciones electromecánicas automáticas de arranque y parada.

Tabla 2.26 Especificaciones de tanque vertical

	Modelo del tanque	Volumen total (Gal)	Volumen útil			Presión de precarga (Psi)	Dimensiones (pulg)		Diámetro de descarga (pulg)	Peso (Lb)
			20/40 Psi	30/50 Psi	40/60 Psi		D	H		
Vertical con base	CH-20	20.0	7.3	6.2	5.4	28	15	32	1	35
	CH-32	32.0	11.2	9.9	8.6	28	15	48	1	43
	CH-62	62.0	22.9	19.2	16.7	38	22	47	1 1/4	92
	CH-86	86.0	31.8	26.7	23.2	38	26	47	1 1/4	123
	CH-119	119.0	44.0	36.9	32.1	38	266	62	1 1/4	166

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

- Sistema de presión constante

Este sistema controla a la red de dos o más bombas en funcionamiento paralelo, las cuales se encienden y apagan según la demanda o gasto de red que se presente. Esto se debe a que es un sistema de bombeo de velocidad fija (Larriva, Agua potable 4.5, 2022).

Cabe mencionar que estos sistemas de presión constante se ocupan cuando los sistemas hidroneumáticos dejan de ser económicos. Las condiciones en las que se debe basar si ocupar el sistema o no, son las siguientes.

- Cuando la $P_{\text{máx}}$ del S.H, es \geq a 70 m de altura de agua.
- Cuando la capacidad del tanque hidroneumático es \geq 3000 gal.
- Cuando el $Q_{\text{máx}}$ estimado para el sistema es \geq 20 LPS.

Tabla 2.27 Número de bombas y caudal de bombeo

Uso del edificio	Bomba (S) Piloto		Bomba (S) Servicio	
	Número	"Q" Caudal L \geq 1.75 L/s	Número	"Q" Caudal L \geq 1.75 L/s
Escuelas. Edificios de oficinas	2	Q=0.10*Q	2	Qb= 0.50 * Q
			3	Qb= 0.35 * Q
Centros comerciales	2	Q=0.15*Q	2	Qb= 0.50 * Q
			3	Qb= 0.35 * Q
Fábricas de (1) turno	2	Q=0.20*Q	2	Qb= 0.50 * Q
			3	Qb= 0.35 * Q
Fábricas de (2) turnos	2	Q=0.25*Q	2	Qb= 0.50 * Q
			3	Qb= 0.35 * Q
Hospitales, Fábricas de (3) turnos			3	Qb= 0.35 * Q
			4 o más	Qb= 0.25 * Q
Multifamiliares Urbanizaciones Conjunto de viviendas	1	Q=0.15*Q	2	Qb= 0.50 * Q
			3	Qb= 0.35 * Q
Hoteles de temporada Urbanizaciones vacacionales	2	Q=0.30*Q	2	Qb= 0.50 * Q

Fuente: Agua potable, Instalaciones en edificios

2.3.4 Infraestructura existente del edificio de Ciencia y Tecnología

La propiedad se encuentra ubicada dentro del área de cobertura del servicio de agua potable y saneamiento de ETAPA, la cual se encarga del servicio de agua y alcantarillado en Cuenca.

La estructura no posee un catastro/levantamiento de tuberías, por lo que se dificulta conocer el estado de estas y su correcta ubicación.

La infraestructura existente tenía conexiones de agua potable y desagües, estas conexiones serán reemplazadas por nuevas tuberías, pero en los mismos lugares con el fin de aprovechar las instalaciones existentes en las losas.

La red de agua potable ha sido diseñada según las necesidades impuestas por el equipo consultor arquitectónico.

La nueva estructura hidrosanitaria tendrá red de agua potable, recirculación, aguas lluvias y residuales.

2.3.5 Consideraciones en abastecimiento de agua potable para el edificio de Ciencia y Tecnología

- **Velocidades máximas y mínimas**

Las velocidades del agua potable se restringen a una velocidad mínima de 0.6 m/s y una velocidad máxima de 2.5 m/s.

La velocidad de la acometida debe ser una aproximación a 1.5 m/s.

- **Presiones máximas y mínimas**

La presión máxima en el agua potable debe de 40 a 50 m.c.a., mientras que la presión mínima deberá ser de 5 m.c.a.

- **Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos.**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2011, NEC – 11, estipula en el capítulo 16 las demandas de caudales, presiones y diámetros a utilizar en los diferentes accesorios sanitarios, como se indica en la Tabla 1.1 Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo.

- **Sistema de distribución interna**

Para determinar los caudales en cada accesorio sanitario se realiza mediante pesos utilizando la norma, los pesos asignados a cada pieza se indican en la Tabla 2.28, que se indica a continuación.

Tabla 2.28 Pesos de aparatos sanitarios

Pesos de aparatos sanitarios	
Aparato Sanitario	P
Bañera/tina	1
Bidet	0.1
Calentadores/Calderas	1
Ducha	0.5
Fregadero cocina	1
Fuentes para beber	0.1
Grifo para manguera	1
Inodoro con depósito	0.3
Inodoro con fluxor	0.3
Lavabo	1
Máquina de lavar ropa	1
Máquina lava vajilla	1
Urinario con fluxor	0.3
Urinario con llave	0.2
Sauna, turco ó hidromasaje domésticos	1

Fuente: Norma NEC-II Capítulo 16 NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA

A demás, se restringe la velocidad a 2.5 m/s y se utiliza el coeficiente de descarga igual a 0.25 l/s, que se ocupa en la ecuación 2.23 para calcular el caudal.

Mientras que las pérdidas de carga se calculan mediante la ecuación de Fair-Whipple-Hsiao, que se presenta a continuación.

Para una tubería de cobre o PVC utilizada para agua fría.

$$J = 0.000869 * \frac{Q^{1.75}}{\phi^{4.75}} \quad \text{ecuación 2.30 Fair - Whipple - Hsiao, cobre o PVC}$$

Para tubería de cobre, latón o PVC utilizada en agua caliente.

$$J = 0.0007005 * \frac{Q^{1.75}}{\phi^{4.75}} \quad \text{ecuación 2.31 Fair - Whipple - Hsiao, cobre, latón o PVC}$$

Donde,

J: pérdida de carga [m/m]

Q: caudal [m³/s]

Ø: diámetro [m]

La longitud equivalente se calcula mediante las pérdidas por accesorios con la ecuación 2.32.

$$Le = D * n * fa \quad \text{ecuación 2.32 Longitud equivalente}$$

Donde,

D: diámetro [m]

N: número de accesorios

Fa: factor de peso según el accesorio sanitario

Tabla 2.29 Longitud equivalente de accesorios

Longitud equivalente de accesorios	
Codo	45
Tee	20
Reductores	0.6
Llave de paso	0.8

Fuente: ETAPA EP

Esta longitud equivalente se suma a la longitud real de la tubería de acuerdo con el tramo de estudio.

$$L = Lr + Le \quad \text{ecuación 2.33 Longitud total}$$

Donde,

L: longitud total

Lr: longitud real de la tubería

Le: longitud equivalente de cada accesorio

2.3.6 Tabla de cálculo – Agua Potable

- Agua potable

Tabla 2.30 Cálculo agua potable - Red fría

CÁLCULO AGUA POTABLE - RED FRÍA																						Verificación		
Pinicial	Pfinal	Accesorios	Q	D	Dredond.	D	D	V	Accesorios				LR	J	Le (m)				Le	Lt	Hf	P.f	Presión >=3	0.6>= V real <=2.5
			(L/s)	(mm)	(mm)	(pulg)	(mm)	(m/s)	Codo	Tee	Reductores	Llave de paso	(m)	(m/m)	Codo	Tee	Reductores	Llave de paso	(m)	(m)	(m)	(m.c.a.)		
1	2	Fregadero cocina	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	2	0	0	1	14.7	0.084	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	16.33	1,368	6,760	Cumple	Cumple
3	4	Fregadero cocina	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	2	0	0	1	9.43	0.084	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	11.06	0.926	7,202	Cumple	Cumple
5	6	Lavabo	0.20	10.03	15.00	3/4	18	0.79	2	0	0	1	1.5	0.057	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	3.13	0.178	6,993	Cumple	Cumple
6	7		0.20	10.03	15.00	3/4	18	0.79	1	0	0	0	3.07	0.057	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	3.88	0.220	7,170	Cumple	Cumple
7	8	Lavabo	0.40	14.18	20.00	1	25	0.81	1	1	0	1	0.54	0.040	1,125	0.500	0.000	0.02	1.65	2.19	0.087	7,390	Cumple	Cumple
8	9	Lavabo	0.60	17.37	20.00	1	25	1.22	2	1	0	1	5.22	0.081	2,250	0.500	0.000	0.02	2.77	7.99	0.650	7,478	Cumple	Cumple
11	12	Fregadero cocina	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	2	1	0	1	12.1	0.084	1,620	0.360	0.000	0.01	1.99	14.09	1,180	6,948	Cumple	Cumple
20	21	Lavabo	0.20	10.03	15.00	3/4	18	0.79	2	0	0	1	1.5	0.057	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	3.13	0.178	5,432	Cumple	Cumple
21	22		0.20	10.03	15.00	3/4	18	0.79	1	0	0	0	3.07	0.057	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	3.88	0.220	5,609	Cumple	Cumple
22	23	Lavabo	0.40	14.18	15.00	3/4	18	1.57	1	1	0	1	0.54	0.191	0.810	0.360	0.000	0.01	1.18	1.72	0.329	5,829	Cumple	Cumple
23	24	Lavabo	0.60	17.37	20.00	1	25	1.22	2	1	0	1	2.4	0.081	2,250	0.500	0.000	0.02	2.77	5.17	0.421	6,158	Cumple	Cumple
25	26		0.60	17.37	20.00	1	25	1.22	1	1	0	0	3.2	0.081	1,125	0.500	0.000	0.00	1.63	4.83	0.393	6,578	Cumple	Cumple
23	24		0.60	17.37	20.00	1	25	1.22	2	1	0	0	2.4	0.081	2,250	0.500	0.000	0.00	2.75	5.15	0.419	6,971	Cumple	Cumple
9	10		1.10	23.51	25.00	1 1/4	32	1.37	0	2	0	0	7.43	0.073	0.000	1,280	0.000	0.00	1.28	8.71	0.634	8,128	Cumple	Cumple
13	14		1.95	31.31	32.00	1 1/2	40	1.55	1	1	0	0	5.5	0.069	1,800	0.800	0.000	0.00	2.60	8.10	0.556	8,762	Cumple	Cumple
1	2	Lavabo	0.20	10.03	14.00	3/4	18	0.79	2	0	0	1	1.75	0.057	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	3.38	0.192	3,983	Cumple	Cumple
2	3		0.20	10.03	14.00	3/4	18	0.79	1	0	0	0	0.29	0.057	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.10	0.062	4,174	Cumple	Cumple
3	4		0.20	10.03	14.00	3/4	18	0.79	1	0	0	0	0.25	0.057	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.06	0.060	4,237	Cumple	Cumple
4	5		0.20	10.03	14.00	3/4	18	0.79	1	0	0	0	0.24	0.057	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.05	0.059	4,297	Cumple	Cumple
5	6		0.20	10.03	14.00	3/4	18	0.79	0	1	0	0	0.63	0.057	0.000	0.360	0.000	0.00	0.36	0.99	0.056	4,356	Cumple	Cumple
6	7	Lavabo	0.40	14.18	14.00	3/4	18	1.57	1	1	1	1	0.48	0.191	0.810	0.360	0.011	0.01	1.20	1.68	0.319	4,412	Cumple	Cumple
7	8		0.40	14.18	14.00	3/4	18	1.57	1	0	0	0	1.75	0.191	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	2.56	0.488	4,732	Cumple	Cumple
8	9		0.40	14.18	14.00	3/4	18	1.57	1	0	0	0	1.78	0.191	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	2.59	0.494	5,219	Cumple	Cumple
10	11		0.40	14.18	14.00	3/4	18	1.57	1	0	0	0	19.92	0.191	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	20.73	3,951	5,713	Cumple	Cumple
16	13		1.95	31.31	32.00	1 1/2	40	1.55	1	0	0	1	3.2	0.069	1,800	0.000	0.000	0.03	1.83	5.03	0.346	9,318	Cumple	Cumple
11	f		2.35	34.37	34.00	1 1/2	40	1.87	0	1	0	1	2.7	0.095	0.000	0.800	0.000	0.03	0.83	3.53	0.336	9,664	Cumple	Cumple

Presión asumida

10

Fuente: Memoria técnica Diseño Hidrosanitario para Bloque C1 (Ciencia y Tecnología)

• **Recirculación inodoros**

Tabla 2.31 Cálculo agua potable - Recirculación

CÁLCULO AGUA POTABLE – RECIRCULACIÓN																							Verificación	
Pinicial	Pfinal	Accesorios	Q	D	Dredond.	D	D	V real	Accesorios			LR	J	Le (m)			Le total	Lt	Hf	P.f	Presión ≥3	0.6≥ V real ≤2.5		
			(L/s)	(mm)	(mm)	(pulg)	(mm)	(m/s)	Codo	Tee	Red	Llave de paso	(m)	(m/m)	Codo	Tee	Red	Llave de paso	(m)	(m)			(m)	(m.c.a.)
1	2	Inodoro con depósito	0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	2	0	0	1	0.21	0.046	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	1.84	0.084	7,401	Cumple	Cumple
2	3		0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	1	0	0	0	0.62	0.046	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.43	0.065	7,485	Cumple	Cumple
3	4	Inodoro con depósito	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	2	1	0	1	0.7	0.084	1,620	0.360	0.000	0.01	1.99	2.69	0.226	7,551	Cumple	Cumple
4	5		0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	1	0	0	0	1.9	0.084	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	2.71	0.227	7,776	Cumple	Cumple
6	5	Urinario con llave	0.47	15.33	15.00	3/4	18	1.84	2	0	1	1	0.54	0.251	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	2.17	0.545	8,003	Cumple	Cumple
5	7		0.47	15.33	20.00	1	25	0.95	0	1	0	0	0.46	0.053	0.000	0.500	0.000	0.00	0.50	0.96	0.051	8,548	Cumple	Cumple
7	M	Urinario con llave	0.61	17.54	20.00	1	25	1.25	2	1	0	1	0.66	0.084	2,250	0.500	0.000	0.02	2.77	3.43	0.289	8,599	Cumple	Cumple
1	2	Inodoro con depósito	0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	2	0	0	1	0.21	0.046	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	1.84	0.084	7,771	Cumple	Cumple
2	3		0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	1	0	0	0	0.62	0.046	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.43	0.065	7,855	Cumple	Cumple
3	4	Inodoro con depósito	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	2	1	0	1	0.7	0.084	1,620	0.360	0.000	0.01	1.99	2.69	0.226	7,921	Cumple	Cumple
4	5		0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	1	0	0	0	1.9	0.084	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	2.71	0.227	8,146	Cumple	Cumple
6	5	Urinario con llave	0.47	15.33	15.00	3/4	18	1.84	2	0	1	1	0.54	0.251	1,620	0.000	0.000	0.01	1.63	2.17	0.545	8,373	Cumple	Cumple
5	7		0.47	15.33	20.00	1	25	0.95	0	1	0	0	0.46	0.053	0.000	0.500	0.000	0.00	0.50	0.96	0.051	8,918	Cumple	Cumple
7	M	Urinario con llave	0.61	17.54	20.00	1	25	1.25	2	1	0	1	0.66	0.084	2,250	0.500	0.000	0.02	2.77	3.43	0.289	8,968	Cumple	Cumple
5	6	Inodoro con depósito	0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	2	1	0	1	1.11	0.046	1,620	0.360	0.000	0.01	1.99	3.10	0.142	7,261	Cumple	Cumple
7	8		0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	1	0	0	0	1.75	0.046	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	2.56	0.117	7,403	Cumple	Cumple
8	9		0.18	9.43	15.00	3/4	18	0.69	1	0	0	0	0.77	0.046	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	1.58	0.072	7,520	Cumple	Cumple
9	10	Inodoro con depósito	0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	1	1	0	1	1.01	0.084	0.810	0.360	0.000	0.01	1.18	2.19	0.184	7,592	Cumple	Cumple
10	11		0.25	11.21	15.00	3/4	18	0.98	1	0	0	0	21.02	0.084	0.810	0.000	0.000	0.00	0.81	21.83	1,828	7,776	Cumple	Cumple
16	13		0.61	17.54	20.00	1	25	1.25	1	0	1	3	3.2	0.084	1,125	0.000	0.000	0.06	1.19	4.39	0.370	8,888	Cumple	Cumple
13	11		1.22	24.81	25.00	1 1/4	32	1.52	0	1	1	3	3.2	0.088	0.000	0.640	0.019	0.08	0.74	3.94	0.346	9,258	Cumple	Cumple
11	f		1.44	26.87	27.00	1 1/4	32	1.79	0	1	0	3	2.7	0.116	0.000	0.640	0.000	0.08	0.72	3.42	0.397	9,603	Cumple	Cumple

Presión asumida

10.0

Fuente: Memoria técnica Diseño Hidrosanitario para Bloque C1 (Ciencia y Tecnología)

- Principal

Tabla 2.32 Cálculo agua potable - Principal

CÁLCULO AGUA POTABLE – PRINCIPAL																						Verificación		
Pinicial	Pfinal	Accesorios	Q (L/s)	D (mm)	Dredond. (mm)	D (pulg)	D (mm)	V real (m/s)	Accesorios			LR (m)	J (m/m)	Le (m)			Llave de paso (m)	Le total (m)	Lt (m)	Hf (m)	P.f (m.c.a.)	Presión ≥3	0.6≥ V real ≤2.5	
F	Principal	Caudal total	3.79	43.62	44.00	2	50	1.93	1	1	1	1	0.5	0.076	2,250	1,000	0.030	0.04	3.32	3.82	0.290	19,710	Cumple	Cumple
																					Presión asumida	20		

Fuente: Memoria técnica Diseño Hidrosanitario para Bloque C1 (Ciencia y Tecnología)

2.3.7 Recomendaciones para el edificio de Ciencia y Tecnología

El Departamento de Consultoría y Asesoramiento Técnico de la Universidad del Azuay indica las siguientes recomendaciones para las instalaciones hidrosanitarias del edificio de Ciencia y Tecnología. (Consultoría Técnica UDA CIVIL, 2023)

- La conexión de agua potable iniciará en los mismos montantes que daban suministro a la red original, sustituyendo los diámetros y las tuberías por nuevas y acoplando las necesidades arquitectónicas solicitadas.
- Las zonas donde van los montantes, bajantes y cualquier otra tubería que se encuentre atravesando la losa de entrepiso, luego de ser colocada, la abertura entre losa – tubería tendrá que ser rellenada con mortero grout.
- La red de agua potable deberá ir por cielo raso y la red de recirculación también será instalada en el cielo raso de la planta baja, hasta llegar a los ductos de la Torre en donde se distribuirá a los inodoros del primer y segundo piso.
- Las bajantes han sido colocadas dependiendo de las necesidades de cada aparato sanitario, tomando en cuenta puntos estratégicos tanto para desalojo de aguas lluvias como de aguas servidas.
- Se la realizado pruebas de laboratorio del agua tomada de la cisterna dando como resultado los valores anexados, por el momento se aprecia que el sistema de tratamiento y filtración de aguas lluvias sería por escaleras, ya que el reporte químico presenta que los análisis sobrepasan los límites de detención; el diseño del manejo de las aguas lluvias para su recirculación se encuentra en proceso.

2.3.8 Dimensionamiento

Para este proyecto se ocupó un compresor con una presión de 2HP, porque se consideró que el sistema era para una vivienda e implementado para una sola salida de agua por un aparato sanitario, pero en la realidad se debe dimensionar para saber qué capacidad debe tener este para tener un funcionamiento óptimo. Además, se debe obtener el dimensionamiento para el compresor que puede ser implementado en el edificio de Ciencia y Tecnología, en base a la bomba e hidroneumático que están actualmente en funcionamiento, los mismos que fueron obtenidos de la información proporcionada por la Universidad del Azuay.

- **Dimensionamiento de la bomba**

Primero se debe obtener la altura de bombeo, según la altura del edificio, la pérdida de carga y la presión mínima.

Tabla 2.33 Cálculo altura de bombeo

Altura por bombear		
Alt. física (m)	Presión mín (m)	Pérdida de carga (m)
9	5	0.19
Altura de Bombeo (m)		14.19

Fuente: Elaboración propia

Se debe obtener el caudal necesario según el peso total de los aparatos en el edificio.

Tabla 2.34 Cálculo Caudal necesario, pesos de los aparatos en el edificio

Pesos de los aparatos en el edificio	Edificio Ciencia y Tecnología	
	Descripción	Peso
	Lavabo	8
	Fregadero	3
	Inodoro	1.8
	Urinario	0.8
	Total/Edificio	13.6
	Q necesario(l/s)	1.84

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se obtiene la potencia de la bomba para el edificio en base a los siguientes cálculos y se es coge un tipo de bomba según su potencia. Los tipos de bomba según su potencia se encuentran en la Tabla 2.27, de igual manera se obtiene el número de bombas necesarias.

Tabla 2.35 Potencia de la bomba, calculada

Potencia de la Bomba	
G(kgf/m ³)	1000
Q(m ³ /s)	0.00184
H(m)	14.19
n(HP)	0.7
Potencia req.(HP)	0.50
Potencia real (HP)	1.00

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el cálculo en la Tabla 2.35, se obtiene de la Tabla 2.27 que se necesitan dos bombas de 2HP.

- **Dimensionamiento de tanque hidroneumático**

Debido a que es un edificio no residencial y el uso que tiene es diferente, se debe implementar un hidroneumático el cual de manera que la bomba debe ser calculado para saber el volumen, presión de arranque y que tanque precargado se requiere.

Tabla 2.36 Cálculo Tanque Hidroneumático

Tanque Hidroneumático	Q(l/s)	1.84
	Q(l/min)	110.63
	Presión arranque (m.c.a)	14.06
	Presión arranque(atm)	1.36
	Presión parada (m.c.a)	28.13
	Presión parada (atm)	2.72
	#Arranques/hr	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.37 Cálculo Volumen Tanque Hidroneumático

Volumen Tanque Hidroneumático	
Vt(lt)	1512.60
Vt(gal)	399.28

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos obtenidos en las Tabla 2.36 y Tabla 2.37 se obtiene el volumen del tanque precargado. En la Tabla 2.26 se indican los tipos de tanque precargados según su volumen, por lo que se debe realizar un cálculo para saber que tanque es el óptimo para el edificio.

Tabla 2.38 Cálculo de Volumen para Tanque Precargado

Tanque Precargado	
Vu(lt)	442.54
Vu(gal)	116.00

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos obtenidos en la Tabla 2.38, se escoge de la Tabla 2.26 que se necesita un tanque vertical CH-119 (119 gal).

- **Dimensionamiento de compresor**

Para el dimensionamiento del compresor si tiene que realizar un procedimiento similar al de la bomba para saber la potencia que se necesita, considerando que la bomba y el hidroneumático

ya van a generar una presión en el sistema. Esto se debe evaluar para evitar que las tuberías revienten o sufran alguna fuga debido a la presión que se ejerza al momento que el aire comprimido ingrese a la tubería de PVC. Cabe mencionar que el sistema presurizado se realizará adicionando una tubería de acero alterna a la de agua potable; por lo que no se puede considerar el material de termo fusión ocupado en el modelo físico, el cual tiene una mayor resistencia a la presión, sino se mantiene la tubería PVC que se encuentra instalada en el edificio de Ciencia y Tecnología.

Al realizar una investigación previa de la tecnología disponible en Ecuador con respecto a sistemas presurizados, se obtuvo información del compresor el mismo que se ocupó para realizar el modelo físico dándonos resultados positivos en las diferentes pruebas que llevaron a cabo.

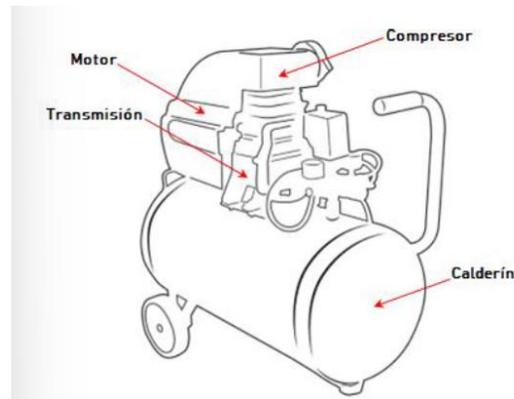
Ortiz-Domínguez *et al.* (2023) mencionan:

Un compresor es una maquina térmica diseñada para aumentar la presión de cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. La compresión se realiza mediante un intercambio de energía entre la maquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética impulsándole a fluir. Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son maquinas hidráulicas, estos son maquinas térmicas, ya que utiliza un fluido compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y temperatura; a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan fluidos, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.

Para describir un compresor se debe tomar en cuenta que existen varios tipos según su fuente de alimentación, tipo de tecnología que se ocupa para comprimir el aire, o el uso y la aplicación al que están destinados. Por lo que se ocupará un compresor para bricolaje, el cual es un compresor de pistón de alimentación eléctrica (Ortiz-Domínguez *et al.*, 2023).

Un compresor electrico de pistón consta fundamentalmen de 4 partes: motor, transmisión, compresor de pistón y depósito; tambien conocido como calderín o tanque (Ortiz-Domínguez *et al.*, 2023).

Figura 2.8 Principales componentes que integran un compresor eléctrico



Fuente: Potencia de un compresor

El motor de este compresor es eléctrico, se encarga de transformar la energía eléctrica en un movimiento rotativo para activar el compresor. A demás su potencia determina el volumen del cilindro o cilindros que se pueden utilizar en el compresor y, en consecuencia, el volumen de aire que se puede comprimir en cada desplazamiento del pistón. Por lo que se puede tener como referencia aproximada que, por cada caballo de potencia del motor, se puede producir 100 lts/min de aire comprimido (Ortiz-Domínguez *et al.*, 2023).

Este compresor absorbe aire de la atmósfera para comprimirlo y enviarlo a un depósito a una presión mucho mayor a la atmosférica. El compresor, a grandes rasgos, consiste en un émbolo que se desplaza arriba y abajo dentro de un cilindro, tomando aire del exterior en su movimiento de descenso, y comprimiéndolo en su movimiento de ascenso (Ortiz-Domínguez *et al.*, 2023).

Cabe mencionar que este compresor es lubricado de transmisión directa, este incluye un soporte de goma que da estabilidad al resto del compresor, llantas para mantener en posición horizontal el tanque, bote de aceite, filtro y mofle que ayuda a reducir el ruido del motor (Ortiz-Domínguez *et al.*, 2023).

Para poder implementar este compresor es necesario saber si la instalación hidrosanitaria posee bomba e hidroneumático, ya que el compresor compensará la pérdida de carga que se genera en el sistema de tal manera que la presión mejore y no se pierda caudal. Esto se puede implementar en diferentes sistemas para mejorar la demanda o en caso de que no exista la suficiente presión en el caudal el aire comprimido brinde la presión necesaria para que el agua potable llegue a los puntos de salida de la vivienda o edificio.

En base a lo mencionado anteriormente, en base a las pérdidas calculadas para el edificio junto con la potencia de la bomba y la capacidad del tanque hidroneumático. En donde se tiene una bomba con una potencia de 2 HP y un tanque hidroneumático precargado CH-119 de 119 galones, de tal manera que se considera un compresor de 5HP para compensar la pérdida de agua que se genera debido a los aparatos y a la altura del edificio.

El compresor de 5HP proporciona una presión máxima de 175 psi con un Amperaje de 22 A, además cuenta con un voltaje de 230 V (CAMPBELL HAUSFELD, 2024). El compresor que se encuentra disponible es el que se indica en la siguiente figura.

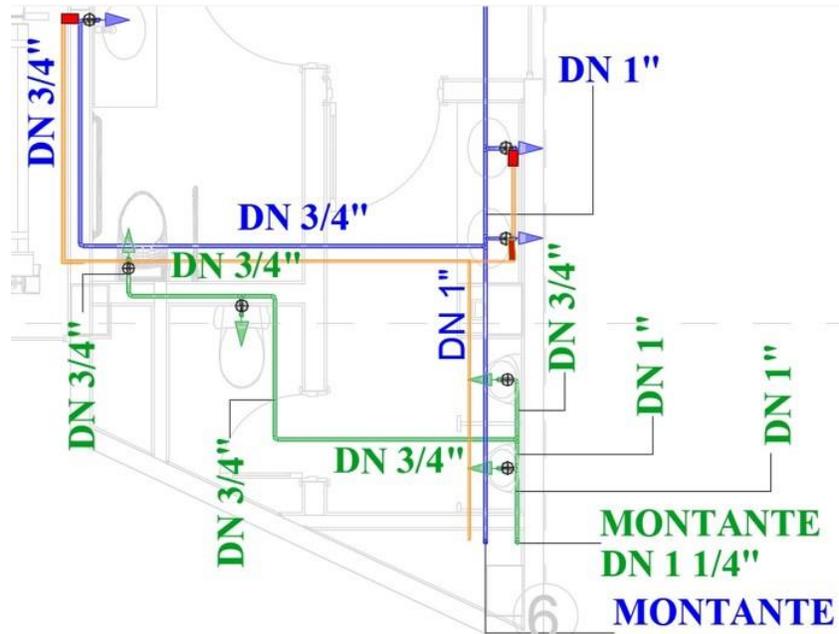
Figura 2.9 Compresor de aire vertical, 5HP



Fuente: Ficha técnica, Compresor de aire de 2 etapas, 80 galones

Este compresor puede mejorar la demanda y consumo de agua potable en el edificio de Ciencia y Tecnología, brindándole mayor presión y mejorando el funcionamiento de la bomba ya que este puede disminuir en cierto punto el trabajo de la bomba para optimizar el tiempo de vida del sistema. Además, se puede considerar disminuir la capacidad de la bomba a 1HP o 1.5HP de tal manera que el compresor compense la diferencia de presión y de ser posible adicionar en cierto porcentaje.

Figura 2.10 Tubería de conducción de aire comprimido, sistema hidrosanitario



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.11 Simbología

SIMBOLOGÍA:

	AGUA POTABLE
	AGUA DE RECIRCULACION
	AGUA SERVIDA
	AGUA LLUVIA
	CANAL PARA RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIAS
	LLAVE DE PASO
	MANIFOLD
	CONDUCCION AIRE

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 3

3 Análisis de costo a largo plazo de la implementación de un sistema presurizado

3.1 Tarifas

Revisando los catastros de la empresa que brinda el servicio de agua potable (ETAPA), se logró obtener las tarifas según los rangos de consumo, lo que nos ayudará a tener un valor aproximado de cuánto es el pago y el consumo que tienen las diferentes edificaciones, diferenciando entre residenciales y no residenciales estas últimas llegando a tener un mayor pago, y por ende un mayor consumo.

Tabla 3.1 Tarifario actualizado del servicio de Agua potable y Saneamiento

	Categoria	Rangos de Consumo (m3)		Cargo Fijo	Cargo Variable
		Desde	Hasta		
Residencial	Residencial	0	10	\$3.32	\$0.44
		mayor a 10	25	\$3.32	\$0.67
		mayor a 25	40	\$3.32	\$0.72
		mayor a 40		\$3.32	\$0.77
No Residencial	Comercial	0	25	\$4.44	\$0.89
		mayor a 25	50	\$4.44	\$0.89
		Mayor a 50		\$4.44	\$1.33
	Industrial- Construccion	0	25	\$4.44	\$0.89
		mayor a 25	50	\$4.44	\$0.89
			Mayor a 50		\$4.44
	Especial	0	25	\$4.44	\$0.89
		mayor a 25	50	\$4.44	\$0.89
		Mayor a 50		\$4.44	\$0.89

Fuente: ETAPA EP.

Para llevar a cabo un análisis de costos de agua potable, se debe considerar los gastos que debe realizar la empresa, en este caso la empresa encargada es ETAPA EP, para cumplir con las necesidades de la población. A continuación, se presenta la tabla..., con el desglose de actividades el costo de estas.

Tabla 3.2 Costo de servicio de agua potable para ETAPA EP

Servicio	Incluye	Procesos	Costo (US\$ x m3)
Agua Potable	Inversión; Operación y mantenimiento	Protección de fuentes hídricas, captación potabilización, almacenamiento, distribución.	US\$ 0.70
Saneamiento (alcantarillado y depuración)	Inversión; Operación y mantenimiento	Alcantarillado y depuración de aguas residuales.	US\$0.55
Costo Total para ETAPA EP			US\$ 1.25

Fuente: ETAPA EP

A demás, se tiene un costo medio de administración en donde el agua potable tiene un valor de 2.23 US\$ por conexión al mes y el saneamiento un valor de 2.65 US\$ por conexión al mes. Cabe mencionar que ETAPA EP subsidia el servicio de agua potable hasta los 10 m3 de consumo para todos los consumidores de la categoría residencial. El costo para la empresa es de US\$ 0.70 por m3 y la tarifa que paga el consumidor es de US\$ 0.60 por m3. (ETAPA EP, 2024)

Para el saneamiento el costo es de US\$ 0.55 por m3. La tarifa que paga el consumidor equivale al 50% del consumo de agua potable, es decir la tarifa es inferior al costo de prestación. (ETAPA EP, 2024)

La empresa encargada también proporciona el cómo se realiza la tarifa de agua potable, en cuestión de las diferentes tarifas que proporcionan según las necesidades de los consumidores.

3.1.1 Tarifa comprometida con el medio ambiente

Esta tarifa se basa en una estructura de bloques crecientes, es decir que, el que consumo más pagará más; se implementa de esta manera con el fin de incentivar a la población a realizar un consumo consciente y eficiente del agua de tal manera que se puedan proteger los diferentes ecosistemas y conservar de mejor manera el recurso agua. (ETAPA EP, 2024)

3.1.2 Tarifa diferenciada

La tarifa diferenciada se realiza por categorías según el uso a los que se destina el servicio. Estos pueden ser residenciales como, viviendas, urbanizaciones, condominios y edificios de

departamentos o vivienda, y no residenciales los cuales son edificios de oficinas, escuelas, centros comerciales, hospitales, entre otros (ETAPA EP, 2024). De tal manera que el consumo se ha diferenciado según el número de personas, así como el uso que este servicio tendrá.

3.1.3 Tarifa con facturación mensual

La tarifa con facturación mensual le permite a los consumidores y a la empresa una reacción más rápida ante fugas y variaciones excesivas en la factura y favorece un mejor control del consumo. (ETAPA EP, 2024)

A demás al tener esta tarifa ayuda más a los usuarios para tener una mejor respuesta al momento de tener algún problema con la instalación que afecte su consumo, así también para saber si están teniendo un consumo excesivo del servicio de tal manera que generen consciencia y regulen este.

3.1.4 Tarifa solidaria

Esta tarifa implementó la empresa para ayudar a grupos vulnerables, los cuales son: tercera edad, discapacitados e instituciones de beneficio social, ya que estos son los que tienen menores ingresos económicos y en el caso de discapacidad depende la que tenga para saber si tiene un mayor consumo o menor, con respecto a lo antes estipulado para una persona que realiza una vida cotidiana. Para una institución de beneficio social, es muy importante que tenga una tarifa solidaria porque estas no tienen ingresos fijos y si tienen un mayor consumo que una vivienda, pero los costos normales pueden llegar a ser costos por lo mencionado anteriormente, por lo que es indispensable tener una tarifa que les ayude a solventar estos gastos (ETAPA EP, 2024).

3.1.5 Tarifa binómica

La tarifa binómica trata de tener un diferenciado en la factura del servicio un cargo fijo y un cargo variable en función del consumo. Esto quiere decir que los costos se recuperan por los consumidores, al momento de tener un término fijo por la capacidad de consumo que tendrán, obteniendo una capacidad instantánea disponible en la instalación y para en el caso del consumo de energía total tener un término variable.

3.2 Facturación

La empresa ETAPA EP indica que la facturación se basa en ciertos conceptos que reflejan dos servicios facturados (ETAPA EP, 2024).

- **Servicio de agua potable que consta de dos partes**
 - a. El cargo fijo del servicio (en US\$ por conexión al mes) que no depende del consumo de agua potable (ETAPA EP, 2024).
 - b. El cargo variable del servicio (en US\$ por m³), que dependerá del consumo de agua realizado en el periodo que se factura. Esta tarifa de acuerdo con el bloque de consumo con el objetivo de estimular un uso eficiente del agua (ETAPA EP, 2024).
- **Servicio de alcantarillado**

Corresponde al 50 % del valor facturado por agua potable. A demás las tarifas de cargo fijo y cargo variable dependen de la categoría del consumidor, las cuales se mencionaron anteriormente, en donde puede ser residencial o no residencial (ETAPA EP, 2024). En la Tabla 3.1, se observan las tarifas actualizadas para el año 2024 y en las que se puede observar y tener un aproximado de cuánto debe pagar el consumidor.

3.2.1 Beneficios

La empresa ETAPA EP garantiza accesibilidad a todos los servicios, en especial a los grupos vulnerables basándose en los principios de solidaridad, equidad y transparencia; brindándoles un descuento del 40 % que aplica hasta un consumo de 25m³ más un 50% de descuento que indica la ley. Para asilos, orfanatos, guarderías, centros de tratamiento y albergues, les brinda un descuento del 35% más un 50% de descuento por Ordenanza. Las instituciones de asistencia social y educación gratuita tienen un descuento del 50% (ETAPA EP, 2024).

Todos estos beneficios son indispensables para que ningún ciudadano pierda el derecho a tener una vida digna y a la salud, ya que el agua es indispensable para actividades de la vida cotidiana como es bañarse, cocinar, beber, limpiar, entre otras.

3.3 Tanque de reserva

Los tanques de reserva se instalan dependiendo de la necesidad que se presente en la instalación, por lo que en este caso el tanque que se instaló es un tanque de reserva que abastece a toda la Facultad de Ciencia y Tecnología. En el capítulo anterior se dimensionó el tanque requerido únicamente para el edificio en el Bloque C1.

A continuación, se presentan los diferentes tanques disponibles en Cuenca, Ecuador.

Tabla 3.3 Tanque de reserva, Capacidad (Lt), Costo (\$)

Tanque de reserva (lt)		
Capacidad (Lt)	Costo (\$)	Descripción del tanque
500	125.12	Tanque rectangular PE 500 LTRS C/KIT 1/2" PLASTIGAMA
500	110.54	Tanque cónico estándar KIT 1/2" 500 LT PLASTIGAMA
500	109.4	Tanque cilíndrico estándar KIT 1/2" 500 LT PLASTIGAMA
500	103.42	Tanque botella económico KIT 1/2" 500 LT PLASTIGAMA
500	100.08	Tanque RIVAL cilíndrico ST 500 LT KIT 1/2"
500	99.68	Tanque RIVAL cónico 500 LT KIT 1/2"
500	96.88	Tanque cilíndrico PE 500 L C/KIT 1/2" PLASTIGAMA
1000	204.08	Tanque cónico estándar KIT 1/2" 1000 LT PLASTIGAMA
1000	186.97	Tanque RIVAL cónico 1000 LT KIT 3/4"
1000	176.67	Tanque apilable PE 1000 LTRS C/KIT 1/2" PLASTIGAMA
1100	181.69	Tanque botella económico KIT 3/4" 1100 LT PLASTIGAMA
1100	165.83	Tanque RIVAL botella 1100 LT KIT 3/4"
1100	156.09	Tanque botella PE 1100 LTS C/ KIT 3/4" PLASTIGAMA
1200	436.89	Tanque cilíndrico PE 1200 L Horizontal TITAN C/ KIT 3/4"
1300	229.62	Tanque cilíndrico PE 1300 L C/ KIT 3/4" PLASTIGAMA
2000	255.03	Tanque apilable PE 2000 LTRS C/KIT 3/4" PLASTIGAMA
2000	618.77	Tanque cilíndrico PE 2000 L Horizontal C/KIT 3/4" UE
2500	291.15	Tanque botella económico KIT 3/4" 2500 LTS PLASTIGAMA
2500	637.18	Tanque reserva 2500LT chancho cilíndrico horizontal PLASTIGAMA
4000	1786.38	Tanque cisterna PE 4000 LT TITAN PLASTIGAMA
5000	973.71	Tanque botella PE 500 LTS PLASTIGAMA
10000	1738.46	Tanque industrial T/BOTELLA 10000 LTS

Fuente: Elaboración propia

Con la información previamente indicada, el tanque de reserva que se considera para la facultad es de 10000 LT, el cual tiene un costo de \$1738,46. Sin embargo, el tanque que se encuentra instalado en la Facultad de Ciencia y Tecnología tiene un costo de \$5156,00.

3.4 Bomba e hidroneumático

Así como en el tanque de reserva, se necesitan de características específicas que se obtienen del dimensionamiento realizado en el capítulo anterior. A continuación, se presentan los costos de los tanques hidroneumáticos con respecto a las especificaciones de cada uno.

Tabla 3.4 Tanque Hidroneumático Vertical (sin patas), Características

Tanque Hidroneumático Vertical (sin patas)						
Modelo	Capacidad (L)	Presión (BAR)	Diámetro (D)	Altura (H)	Presión Precargada	Conexión
BHT-12V-HP	12	16-25	240 mm	310 mm	2 bar	1 pulg
BHT-19V-HP	19	16-26	300 mm	310 mm	2 bar	1 pulg
BHT-24V-HP	24	16-27	300 mm	300 mm	2 bar	1 pulg
BHT-35V-HP	35	16-28	350 mm	450 mm	2 bar	1 pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Tanque Hidroneumático Vertical (con patas), Características

Tanques Hidroneumático Vertical (con patas)						
BHT-50VL-HP	50	16-25	350 mm	760 mm	2 bar	1 pulg
BHT-60VL-HP	60	16-26	380 mm	870 mm	2 bar	1 pulg
BHT-80VL-HP	80	16-27	425 mm	930 mm	2 bar	1 pulg
BHT-100VL-HP	100	16-28	460 mm	990 mm	4 bar	1 pulg
BHT-150VL-HP	150	16-29	500 mm	1080 mm	4 bar	1 pulg
BHT-200VL-HP	200	16-30	600 mm	1120 mm	4 bar	1 pulg
BHT-300VL-HP	300	16-31	640 mm	1250 mm	4 bar	1 1/4 pulg
BHT-500VL-HP	500	16-32	750 mm	1490 mm	4 bar	1 1/4 pulg
BHT-750VL-HP	750	16-33	800 mm	1920 mm	4 bar	2 pulg
BHT-850VL-HP	850	16-34	800 mm	2020 mm	4 bar	2 pulg
BHT-1000VL-HP	1000	16-35	800 mm	2150 mm	4 bar	2 pulg
BHT-1500VL-HP	1500	16-36	960 mm	2350 mm	4 bar	2 pulg
BHT-2000VL-HP	2000	16-37	1100 mm	2450 mm	4 bar	2 1/2 pulg
BHT-2500VL-HP	2500	16-38	1100 mm	2700 mm	4 bar	2 1/2 pulg
BHT-3000VL-HP	3000	16-39	1200 mm	2700 mm	4 bar	3 pulg
BHT-4000VL-HP	4000	16-40	1450 mm	3100 mm	4 bar	3 pulg
BHT-5000VL-HP	5000	16-41	1450 mm	3100 mm	4 bar	3 pulg
BHT-10000VL-HP	10000	16-42	1600 mm	5900 mm	4 bar	3 pulg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Tanque de presión, Características, Costo

Tanque de presión	
Descripción	Precio
Tanque presión 25 GL Best Tank	128.26
Tanque de Presión 19 GL	272.27
Tanque de presión 53 Gl con manómetro best tank	265
Tanque presión 133 GL con manómetro Best Tank	478.06
Tanque de presión 21 GL Best Tank	107.25
Tanque de presión 200 GL con manómetro best tank	1380

Fuente: Elaboración propia

En el caso del tanque hidroneumático que se encuentra instalado en la Facultad, es el modelo Amtrol WX-302 con un costo de \$ 1,987.48.

Para las bombas se obtuvo una muestra con respecto a la disponibilidad del equipo en Cuenca, así como sus especificaciones y valores.

Tabla 3.7 Bombas, Potencia, Costo

Bombas	
Potencia (HP)	Precio
1	239.17
1	231.09
1.25	249.97
1.5	289.57
1.5	190
1.8	236.41
3	493

Fuente: AQUAMAIN

La bomba que se encuentra instalada en la Facultad es de 3HP, la que tiene un costo de \$493,00.

3.5 Compresor

Después de que se realizaron las diferentes pruebas con el compresor, se realizó un análisis de costos para saber que compresor es el óptimo para el edificio. Esto se debe a que las pruebas se realizaron para un solo punto de salida y el compresor debe ir a toda la instalación, por lo mismo que se recomienda la implementación de un compresor de 5HP debido a la potencia que requiere el sistema hidrosanitario.

Tabla 3.8 Compresor, Características, Costo

Compresor	
Descripción	Precio
1.5 HP 20L 116 PSI	146.23
2 HP 50L	253.62
2 HP 25L 116 PSI	205.34
3 HP 40 L 116 PSI	184.21
5 HP 80 GL	2116.32

Fuente: Elaboración propia

3.6 Resultados y Discusión

Mediante las distintas experimentaciones que se obtuvo con el desarrollo del modelo físico, encontramos varios usos, en un principio fue destinada a ser como un sistema auxiliar que nos ayude a reducir el consumo de agua, teniendo en cuenta diferentes factores, hemos analizado que se logra obtener mayor presión de agua, al observar esto, simulamos diferentes circunstancias que se presentan en el día a día en los diferentes tipos de viviendas, teniendo como generalidades, una en el que una vivienda tenga un tanque de reserva en la parte superior de la vivienda, otro en el cual tenga en la parte inferior de la misma, y otro en el cual tenga conexión directa a la red principal de la ciudad.

En el primer caso, en el que se tiene un tanque de reserva elevado se observa que ayuda a distribución de agua mediante carga gravitacional cómo podemos observar en la Tabla 2.1, en donde se toman diferentes datos en el cual se registra un consumo, y al momento de conectar el sistema de aire presurizado, se genera una cámara de compresión dentro del tanque, y se tomaron la misma cantidad de mediciones, analizando los resultados, se logra determinar que se registra una aumento de presión, esto se logra ya que la presión dentro del tanque aumenta, y existe un aumento considerable en cuanto a presión del agua, en este caso al ser un solo aparato que consume el agua en el que tenemos un grifo, se logra tener más control a la hora de tener dichas mediciones.

Esto llevado ya a casos de la vida cotidiana, en donde se encuentra una amplia gama de aparatos, sucede que, al momento de utilizar diferentes accesorios al mismo tiempo, existe una disminución considerable de la presión, viéndose como los más afectados aquellos que estén más alejados, lo que se considera incomodidad en los usuarios, ya que las actividades que se realizan se ven afectadas o demoran más tiempo por esta misma razón de la pérdida de presión.

Al momento de utilizar el sistema de aire presurizado se logra corregir este fenómeno, mejorando la comodidad y la versatilidad que se necesita al momento de cubrir las necesidades del consumo, ayudando a tener una mejor sensación de cantidad de agua al manipularla, ya que se logra tener una distribución más homogénea a lo largo de toda la red de agua, llegando con mayor cantidad y presión hasta los puntos más alejados de la red, lo que mejora las actividades cotidianas.

En el segundo caso, en el cual se encuentre el tanque de reserva en la parte inferior, en la simulación que logramos obtener con el modelo físico, al momento de tener el tanque a nivel del suelo, se anula la parte de la carga gravitacional, por esta razón no se obtiene consumo de agua, ya que no logra subir el agua, como primera instancia no logramos obtener medición ya que no existe un consumo de agua, entonces al momento de conectar el sistema de aire presurizado, sucede el mismo fenómeno que en el caso anterior, se genera una cámara de compresión dentro del tanque, y se logra obtener mediciones como se muestra en la Tabla 2.4.

Analizando esto en una vivienda, se necesitaría distintos aparatos, entre ellos bombas de agua, tanques hidroneumáticos, entre otros; para que genere distintas presiones los mismos ayudan en la distribución de agua a lo largo de toda la red de agua, los cuales llegan a ser muy costosos y complejos en integrarlos a la red de agua de las viviendas, esto genera otro tipo de inconvenientes uno de ellos el mantenimiento de estos sistemas, que por ser muy complejos suelen ser costosos tanto mantenimiento como el funcionamiento mismo de estos equipos.

Con el sistema presentado en este trabajo, se utiliza compresores de aire, estos no son costosos de adquirirlos a comparación de otros aparatos ya mencionados anteriormente. Mediante el modelo físico que se desarrolló, se logra reducir significativamente la complejidad de la conexión a la red de agua, dando mayores beneficios, en este caso el mantenimiento y el funcionamiento se reduce, ya que no son sistemas complejos. Adicional al ser un sistema de muy baja complejidad resultan muy versátiles.

En los momentos en que se utilice diferentes aparatos sanitarios que generen consumo de agua, como suele ser muy recurrente dentro de una vivienda, ayuda a mantener presión de agua para controlar a uniformidad en la distribución de agua evitando inconvenientes, mejorando la versatilidad a la hora de satisfacer las necesidades que se presenten en el día a día.

En el tercer caso, en el cual se tenga la conexión directa a la red principal de la ciudad, lo simulamos conectando directamente el grifo a la conexión general, logrando tener un registro de datos, los que se puede observar en la tabla Tabla 2.6. En este caso, para lograr la adición del aire presurizado, se utilizó un manifold, el cual se indicó anteriormente el funcionamiento, se logró recolectar datos de esta combinación de la conexión directa con el aire presurizado Tabla 2.6. Logrando un aumento significativo de la presión de agua, a comparación de la conexión directa sin aire.

Al igual que en los anteriores casos, llevándolo a la vida cotidiana, ayudaría mucho en la conservación de la presión de agua, ya que al carecer de carga gravitacional como en el primer caso, o el uso de aparatos externos que generen esta presión como en el segundo caso, este tercero depende exclusivamente de la presión que llega a la vivienda brindada por la red de agua potable de la ciudad, esta está sujeta a muchas otras variables externas, como podría ser el consumo que se obtenga en el sector, los picos de consumo que se logran obtener a diferentes horas del día, la posición geográfica dentro de la ciudad, la topografía del sector en donde este emplazada la vivienda, la cota en que se encuentre la red de la ciudad y la cota donde se conecte a la vivienda, entre otras, todas estas combinadas hacen que se tenga mucha variabilidad a la hora de consumir el agua potable, ya que interfiere en la calidad de vida, desarrollo de actividades cotidianas, y sobre todo la disponibilidad inmediata de este recurso.

Después de haber realizado las diferentes pruebas con el modelo prototipo logramos dimensionar y obtener diferentes valores comerciales de los aparatos necesarios, los que están ya implementados en el edificio y los que logramos obtener para nuestra propuesta, los precios obtenidos son de los proveedores que comercializan los aparatos en el mercado. Por lo cual obtenemos diferentes valores, los mismos que se muestran a continuación.

Tabla 3.9 Comparación de Costos

Implementado		Propuesta	
Aparato	Precio	Aparato	Precio
Tanque de reserva	5156	Tanque de reserva	5156
Bomba de agua	493	Bomba de agua	190
Tanque hidroneumático	1987.41	Compresor	184.21
Total	7636.41	Total	5530.21

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como resultado un ahorro en la implementación de aparatos de \$2106.20 lo que es un valor considerable al momento de sacar el presupuesto total de una instalación de agua potable, teniendo en cuenta que a largo plazo hay que considerar mantenimiento de estos lo cual conlleva gastos adicionales. En el sistema propuesto en este trabajo, al ser el compresor un rubro que tiene un valor bajo y su tecnología de funcionamiento no es tan complejo, resulta mas económico los mantenimientos o de ser el caso de reemplazarlo a comparación de un tanque hidroneumático, en el que su funcionamiento es más complejo, los mantenimientos son más complejos y si se da el caso de reemplazarlo, representaría un rubro más fuerte de cubrir.

Conclusiones

En conclusión, el presente trabajo realizó la imple un prototipo para valorar la implementación sistema de aire presurizado; el cual puede servir para viviendas y edificios. Además, se analizó su implementación en el edificio de Ciencia y Tecnología, resultando una alternativa en el punto de vista de un ahorro económico y sustentable.

En el CAPÍTULO 1, se muestra el análisis de la bibliografía con respecto a la tecnología disponible y el mercado, se concluyó que la mejor forma o manera más sencilla de aplicar el sistema presurizado es mediante un compresor y tanque de reserva con un volumen que pueda comprimir el agua.

Se construyo un modelo físico sobre las posibles soluciones de implementación, las cuales se analizaron en el CAPITULO 2, en donde se muestran las diferentes alternativas que se estudiaron en el modelo, determinándose que depende del uso del sistema se tienen diferentes alternativas que son viables. En el caso de una vivienda la alternativa más viable es la conexión directa del sistema de aire presurizado al sistema de agua potable, mientras que para un edificio se puede implementar un flujo continuo para que el agua se comprima en el tanque de reserva y esta sea distribuida, también se analizó el compresor que se requiere para el edificio dándonos como resultado un compresor de 1.5HP. A través, del prototipo se determinó que se incrementa la presión en un 53.46% en la red normal para una vivienda lo cual resulta una solución atractiva.

Finalmente, se analizó la implementación de un sistema de este tipo en el edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología, encontrándose que los costos más importantes que tienen que ver con el sistema de presurización de la red son: bomba, tanque de reserva y tanque hidroneumático. Usando la tecnología convencional se tiene un costo total de \$ 7,636.41 USD y ocupando la tecnología propuesta es de \$ 5,530.21 USD.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se derivan de los resultados de este estudio y están destinadas a informar y guiar acciones futuras en el ámbito de la distribución de agua potable, con el objetivo de abordar las limitaciones identificadas actuales, el modelo presentado mejora considerablemente la presión, ayudando a mejorar el consumo y el uso de este recurso.

El trabajo realizado muestra la valía de hacer experiencias prácticas sobre la implementación de tecnología alternativa para mejorar un sistema de distribución o disminuir el consumo de agua potable. Se recomienda continuar con este tipo de trabajos y analizar las diferentes alternativas.

A partir del análisis realizado se muestra que es una alternativa viable la implementación de este sistema en el edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología, por lo que se recomienda darle un mayor seguimiento a la red a través de la recolección de datos de presiones y consumo, a partir de lo cual se pueda modelar la implementación de la solución propuesta y validar su uso no solo en viviendas sino también en edificios de cualquier tipo.

Se recomienda que la Universidad del Azuay profundice en el modelo realizado para en un futuro poder optimizar el mismo y de ser el caso, a obtener un equipo o sistema que ayude al ahorro del agua, manteniendo o en el algún caso mejorando el consumo de agua.

Bibliografía

Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una Oportunidad para América Latina y el Caribe. (2018). Santiago: Naciones Unidas. Recuperado el 2 de Enero de 2024

AQUAMAIN. (2024). *Catálogo Bombas*. Catálogo de bombas, Cuenca.

Arbab, F., Herman, I., & Spilling, P. (1993). *An overview of Manifold and its implementation*. Centre for Mathematics and Computer Science. doi:10.1002/cpe

Bedón, E., & Navas, J. (2021). *Diseño de Valvulas de impulso check para bomba de ariete mutipulsor boxér de dos vías de carga horizontal*. Proyecto de titulación, Latacunga. Recuperado el 27 de Febrero de 2024, de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8026/3/PI-001788.pdf>

CAMPBELL HAUSFELD. (2024). *Compresor de aire de 2 etapas, 80 galones*. Quito: PINTULAC. Recuperado el 1 de Mayo de 2024, de <https://www.pintulac.com.ec/compresor-vertical-5hp-80-galones-15-8-cfm-220v-3.html>

Carmona, R. P. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Center, M. H. (Dirección). (2022). *¿Cómo funciona un sistema hidroneumático?* [Película]. Recuperado el 24 de Febrero de 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=eJjL8zZVLts>

Como funciona tanque para hidroneumático (2022). [Película]. Recuperado el 24 de Febrero de 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=TgZxkDsxc8U>

CompAir. (s.f.). *Introducción*. Recuperado el 8 de Enero de 2024, de CompAir: <https://www.compair.com/es-es/technologies/compressed-air>

Concha, S. (2014). *Diseño del plande aseguramiento de la calidad del proceso de termofusion de tuberias de polipropileno*. Proyecto de titulación, Callao. Recuperado el Abril de 2024, de https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/222/Shirley_Tesis_titulo profesional_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Consultoría Técnica UDA CIVIL. (2023). *Memoria Técnica Diseño Hidrosanitario para Bloque C1 (Ciencia y Tecnología)*. Memoria Técnica, Informe Hidrosanitario, Cuenca.

Duliep, E. (2002). *Instalaciones de Aire Comprimido*. Artículo, La Habana. Obtenido de <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/download/230/228>

Elegir el sistema de tuberías de aire comprimido adecuado. (24 de Octubre de 2022). Recuperado el 5 de Enero de 2024, de AtlasCopco: <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/elegir-sistema-tuberias-aire-comprimido-adecuado>

ETAPA EP. (2024). *Tarifas de Agua Potable y Saneamiento*. Informe de tarifa de agua potable y saneamiento, Cuenca. Obtenido de <https://www.etapa.net.ec/wp-content/uploads/2024/04/Nuestras-tarifas-de-agua-potable-y-saneamiento-2024.pdf>

Guanilo-Briones, C. (2017). *Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería*. Proyecto de titulación, Piura. Recuperado el Abril de 2024, de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/e796b591-3559-4a89-a39f-dd5ee8f81b99/content>

Inga, K. P. (2006). *Media aritmética simple*. Boletín electrónico. Recuperado el Abril de 2024, de <http://www.editorialkamar.com/et/archivo11.pdf>

Izenman, A. J. (2012). Introduction to manifold learning. *WIREs*, 446. doi:10.1002/wics.1222

Larriva, J. (2022). *Agua Potable: 2. Redes de distribución, Tanques de reserva*. Material académico. Recuperado el 23 de Abril de 2024

Larriva, J. (2022). *Agua Potable: Instalaciones en edificios, Gastos por aparatos HS*. Material académico, Cuenca.

Larriva, J. (2022). *Agua Potable: Instalaciones en edificios, Pérdidas de carga, Acometida y Medidores*. Material académico, Cuenca.

Larriva, J. (2022). *Agua potable: Instalaciones en edificios, Sistema Hidroneumático*. Material académico, Cuenca.

Larriva, J. (2022). *Agua potable: Instalaciones en edificios, volumen de la cisterna*. Material académico, Cuenca.

Larriva, J. (2022). *Alcantarillado Sanitario: Instalaciones en edificio*. Material académico, Cuenca.

(2011). *NEC-11 Capítulo 16: NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA*. Norma Ecuatoriana de la Construcción, Quito.

Ortiz-Domínguez, M., Cruz-Avilés, A., Juárez-López, Y., García-Hernández, O. V., & Mendoza-Castañeda, J. J. (2023). *Potencia de un compresor*. Artículo científico, Sahagun. doi:10.29057/escs.v10i19.9886

Ramírez, L. (2020). *Diseño conceptual y básico de una válvula bidireccional anti-retorno (check valve)*. Bogotá D.C. Recuperado el 27 de Febrero de 2024, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/48f8ff0c-1007-46ed-a029-f0f4fb85e2a7/content>

Seung, H. S., & Lee, D. D. (22 de Diciembre de 2000). The Manifold Ways of Perceptions. *Science's Compass*, 290. Recuperado el Abril de 2024, de <https://www.science.org/doi/10.1126/science.290.5500.2268>

Shuan, F. (2018). *Evaluación Técnica y Económica del Sistema convencional (tuberías PVC) y el Sistema de termofusión (tuberías de Polipropileno) en Instalaciones Interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz, ANCASH 2016*. Proyecto de titulación, Huaraz. Recuperado el Marzo de 2024, de https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2767/T033_40862344_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

(2011). *Sistemas de Control de Tanque Hidroneumático*. Washington: Washington State Department of Health. Recuperado el 23 de Febrero de 2024

UANL. (2024). Modelo físico vs Modelo matemático. *Studocu*. Recuperado el 5 de Marzo de 2024, de Studocu: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/mecanica-de-materiales/modelo-fisico-vs-modelo-matematico/46858828/download/modelo-fisico-vs-modelo-matematico.pdf>

