UNIVERSIDAD NACIONAL

JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE PARA USO EN VIVIENDAS, 2018

PRESENTADO POR:

MOISES JARED CARLOS MEDRANO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

ASESOR:

M(o). LUIS ROLANDO GONZALES TORRES

Registro CIP 26867

HUACHO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a todos los que me apoyaron para la culminación de este trabajo, pero no solo con esto, sino desde que ingrese a la universidad hasta el día de hoy, y empezare por mi Dios que sin él no soy nada, a mi padre Alejandro que en paz descanse que siempre me animaba a ser un gran profesional, mi madre Hilaria que hasta el día de hoy me apoya en todo y consejos para ser un buen profesional y ser humano, mi tío Gabriel y su esposa por el ánimo que me dan, mis hermanos por su apoyo incondicional y amigos, gracias por todo.

.

Moisés Jared Carlos Medrano

AGRADECIMIENTO

Se me enseño desde muy pequeño que Dios se complace con el hombre agradecido y como no agradecer en esta ocasión infinitamente a mi Dios por su apoyo, la fuerza, paciencia y salud que me dio durante el proceso de mi tesis, a mis padres, hermanos y a mi asesor por su ayuda y conocimientos brindados durante este gran trabajo, muchas gracias a todos.

Moisés Jared Carlos Medrano

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

ÍNDICE DE FIGURAS viii

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE ANEXOS xi

RESUMEN xii

ABSTRACT xiii

INTRODUCCIÓN xiv

CAPITULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1 Descripción de la realidad problemática 1

1.2 Formulación del problema 2

1.2.1 Problema general 2

1.2.2 Problemas específicos 3

1.3 Objetivos de la investigación 3

1.3.1 Objetivo general 3

1.3.2 Objetivos específicos 3

1.4 Justificación de la investigación 4

1.4.1 Justificación teórica 4

1.4.2 Justificación práctica 4

1.4.3 Justificación legal 4

1.4.4 Justificación metodológica 4

1.5 Delimitaciones del estudio 4

1.5.1 Delimitación Espacial 4

1.5.2 Delimitación Temporal 5
1.5.3 Delimitación teórica 5
1.6 Viabilidad del estudio 5
1.6.1 Viabilidad técnica 5
1.6.2 Viabilidad ambiental 5
1.6.3 Viabilidad financiera 5
1.6.4 Viabilidad social 5
CAPITULO II 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1 Antecedentes de la investigación 6
2.1.1 Investigaciones internacionales 6
2.1.2 Investigaciones nacionales 8
2.2 Bases teóricas 10
2.2.1 Calidad del agua 10
2.2.1.1 Calidad organoléptica del agua 10
2.2.1.2 Calidad química del agua 11
2.2.1.3 Calidad microbiológica del agua 12
2.2.2 Tratamientos de agua para potabilización 12
2.2.2.1 Unidades de tratamiento físico 12
2.2.2.2 Unidades de tratamiento químico 13
2.2.2.3 Unidades de tratamiento microbiológico 16
2.3 Bases filosóficas 17
2.4 Definición de términos básicos 17
2.5 Hipótesis de investigación 19
2.5.1 Hipótesis general 19

2.5.2 Hipótesis específicas 19
2.6 Operacionalización de las variables 19
CAPITULO III 21
METODOLOGÍA 21
3.1 Diseño metodológico 21
3.1.1 Tipo de investigación 21
3.1.2 Nivel de investigación 21
3.1.3 Diseño 22
3.1.4 Enfoque 22
3.2 Población y muestra 22
3.2.1 Población 22
3.2.2 Muestra 23
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 23
3.3.1 Técnicas a emplear 23
3.3.2 Descripción de los instrumentos 23
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información 24
CAPITULO IV 25
RESULTADOS 25
4.1 Análisis de resultados 25
4.1.1 Diseño del sistema modular para uso en viviendas 25
4.1.1.1 Parámetros de diseño 25
4.1.1.2 Diseño del sistema modular 30
4.1.2 Construcción del sistema modular para uso en viviendas 68
4.1.2.1 Construcción del sistema modular 68
4.1.2.2 Operación del sistema modular 70

4.2 Contrastación de hipótesis 78
CAPITULO V 80
DISCUSIÓN 80
5.1 Discusión de resultados 80
CAPITULO VI 84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 84
6.1 Conclusiones 84
6.2 Recomendaciones 84
CAPITULO VII 86
REFERENCIAS 86
7.1 Fuentes documentales 86
7.2 Fuentes bibliográficas 88
7.3 Fuentes hemerográficas 88
7.4 Fuentes electrónicas 89
ANEXOS 90

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ablandamiento de iones de calcio con la de sodio de la resina 14

Figura 2. Contaminantes y vapores adheridos al carbón activado 15

Figura 3. Representación de cálculo del caudal de agua potable alimentada 26

Figura 4. Caudal de agua potable alimentada respecto el volumen y tiempo de operación del sistema modular 28

Figura 5. Componentes interiores del filtro 31

Figura 6. Dimensionamiento de la columna de adsorción con carbón activado 34

Figura 7. Detalle del montaje de tapas en la columna de adsorción con carbón activado 35

Figura 8. Representación de cálculo de dureza total alimentada a la columna 36

Figura 9. Dureza alimentada a la columna por volumen y dureza del agua potable alimentada 39

Figura 10. Volumen de resina con la altura en la columna para un DI de 0,105 m 40

Figura 11. Representación de cálculo de dureza intercambiada en la columna 42

Figura 12. Dureza intercambiada en la columna en base a la altura y capacidad de intercambio de la resina 44

Figura 13. Dureza intercambiada en la columna en base al volumen y capacidad de intercambio de la resina 45

Figura 14. Representación de cálculo de frecuencia de operación de la columna 46

Figura 15. Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación 51

Figura 16. Dimensionamiento de la columna de intercambio iónico ciclo sodio. 54

Figura 17. Detalle del montaje de tapas en la columna de intercambio iónico ciclo sodio..... 55

Figura 18. Representación de cálculo de tiempo de retención en la columna UV 58

Figura 19. Tiempo de retención en la columna UV por volumen y caudal de alimentación... 60

Figura 20. Diseño de la unidad de tratamiento microbiológico con UV 62

Figura 21. Detalle del montaje de tapas de la unidad de tratamiento UV..... 63

Figura 22. Datos técnicos de la lámpara de UV..... 63

Figura 23. Configuración del sistema modular y requerimientos adicionales 66

Figura 24. Configuración del sistema modular y detalle de accesorio y materiales utilizados 67

Figura 25. Módulos armados para el sistema modular de tratamiento de agua potable (filtro, para carbón para resina, columna UV)..... 68

Figura 26. Armado del sistema modular..... 69

Figura 27. Pre armado del sistema modular para traslado al lugar de instalación 69

Figura 28. Válvula de bola en posición abierta y cerrada 70

Figura 29. Válvula de bola en posición abierta y cerrada para regulación de flujo 70

Figura 30. Preparación del filtro 71

Figura 31. Preparación de la columna de carbón..... 72

Figura 32. Preparación de la columna de intercambio ciclo sodio 72

Figura 33. Preparación de la columna UV..... 73

Figura 34. Servicio del sistema modular con ablandamiento 74

Figura 35. Servicio del sistema modular sin ablandamiento 74

Figura 36. Retrolavado de la columna de adsorción con carbón activado..... 75

Figura 37. Lavado de la columna de adsorción con carbón activado 76

Figura 38. Retrolavado de la columna de intercambio ciclo sodio 77

Figura 39. Regeneración de la columna de intercambio ciclo sodio..... 77

Figura 40. Lavado de la columna de intercambio ciclo sodio 78

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 *Calidad organoléptica permisible para la calidad del agua potable*.....10

Tabla 2 *Tiempo de sedimentación de sólidos en suspensión en aguas de reposo* 13

Tabla 3 *Operacionalización de variables*.....20

Tabla 4 *Caudal de agua potable alimentada respecto el volumen y tiempo de operación del sistema modular* 27

Tabla 5 *Análisis cualitativo de las impurezas potenciales del agua potable*.....29

Tabla 6 *Análisis cualitativo de los contaminantes potenciales del agua potable*.....30

Tabla 7 *Requerimiento de accesorios y materiales para la columna de adsorción con carbón activado*.....33

Tabla 8 *Dureza alimentada a la columna (granos de $CaCO_3$) por volumen y dureza del agua potable alimentada*.....37

Tabla 9 *Volumen de resina con la altura en la columna para un DI de 0,105 m*.....41

Tabla 10 *Dureza intercambiada en la columna en base a la cantidad y capacidad de intercambio de la resina ciclo sodio* 43

Tabla 11 *Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación*.....47

Tabla 12 *Requerimiento de accesorios y materiales para la columna de intercambio ciclo sodio* 53

Tabla 13 *Volumen de la columna UV en función a la longitud del módulo* 57

Tabla 14 *Tiempo de retención en la columna UV por su volumen y caudal de alimentación*.....59

Tabla 15 *Requerimiento de accesorios y materiales para la columna UV*.....61

Tabla 16 *Requerimiento de accesorios y materiales del sistema modular* 65

Tabla 17 *Resumen de apertura y cierre de válvulas para el uso del sistema modular* 79

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1: Matriz de consistencia.....91

Anexo 2. Concentración del regenerante cloruro de sodio.....92

Anexo 3. Materiales y accesorios utilizados en el sistema modular.....93

Anexo 4. Preparación de accesorios del sistema modular.....100

Anexo 5. Reporte de similitud Turnitin.....101

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

Diseño y construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas, 2018

Moisés Jared Carlos Medrano [1]

RESUMEN

Objetivo: Realizar el diseño y construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas**. Métodos:** Investigación de tipo transversal, prospectivo y observacional. Diseño de investigación no experimental descriptivo simple con enfoque mixto, se utilizó el proceso de mejora continua de Deming para el diseño y construcción del sistema modular para diferentes niveles de la producción de agua tratada de acuerdo a la calidad de la fuente y necesidad familiar. **Resultados:** Se consideró una producción semanal de 100 litros a 140 ml/min, identificándose impurezas potenciales físicas (sólidos en suspensión), químicas (dureza 500 ppm, cloro residual, metales pesados, agroquímicos) y microbiológicas (por ingreso). Para el sistema, se adquirió un filtro (presión de trabajo 0,5 a 7 kg/cm^2), se diseñó una columna con carbón activado, con resina de intercambio iónico ciclo sodio (diámetro interior 0,105 m, altura total 0,60 m, altura material 0,46 m, volumen material 3,983 litros, área de sección 0,0087 m^2, flux 270 l/m^2/s) y una columna ultravioleta (lámpara UV 15 W, diámetro interior 0,105 m, altura 0,45 m. volumen 3,897 l, tiempo de retención 28 min). Se construyó secuencialmente el sistema modular en tratamiento físico, químico y microbiológico, requiriendo depósitos para salmuera y agua tratada de 15 l y 120 l respectivamente, con una caja para suministro de energía eléctrica. Se delinea el procedimiento de operación con y sin ablandamiento, la regeneración y limpieza de las unidades de los diferentes módulos. **Conclusiones**: El sistema modular permitirá operar a diferentes niveles de producción, lo que garantiza la versatilidad del equipo en su uso en viviendas. El diseño secuencial del sistema modular, iniciando por la filtración permitirá el cuidado de los rellenos de las columnas siguientes, la columna de carbón activado retendrá el cloro y potenciales contaminantes como olor, color y metales pesados y la columna de UV garantizará la inocuidad del agua tratada. Se consideró en la construcción del sistema modular, la facilidad de montaje y desmontaje para su traslado, sustitución y limpieza de rellenos y de la lámpara UV con un manual de operación que garantice su operación adecuada.

Palabras clave: Diseño modular, filtro, carbón activado, ablandador, ultravioleta.

[1] Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: jaredcarlos@outlook.es

Design and construction of a modular drinking water quality assurance system for housing use, 2018

Moisés Jared Carlos Medrano [1]

ABSTRACT

Objective: Carry out the design and construction of a modular system for assuring the quality of drinking water for use in homes. **Methods:** Cross-sectional, prospective and observational research. Simple descriptive non-experimental research design with a mixed approach, the Deming continuous improvement process was used for the design and construction of the modular system for different levels of treated water production according to the quality of the source and family need. **Results:** A weekly production of 100 liters at 140 ml / min was considered, identifying potential physical (suspended solids), chemical (hardness 500 ppm, residual chlorine, heavy metals, agrochemicals) and microbiological (by income) impurities. For the system, a filter was acquired (working pressure 0.5 to 7 kg / cm^2), a column was designed with activated carbon, with sodium cyclo ion exchange resin (internal diameter 0.105 m, total height 0.60 m, material height 0.46 m, material volume 3.983 liters, section area 0.0087 m2, flux 270 l / m^2 / s) and an ultraviolet column (UV lamp 15 W, inner diameter 0.105 m, height 0.45 m. volume 3.897 L, retention time 28 min). The modular system in physical, chemical and microbiological treatment was built sequentially, requiring tanks for brine and treated water of 15 l and 120 l respectively, with a box for supplying electricity. The operation procedure with and without softening, the regeneration and cleaning of the units of the different modules is outlined. **Conclusions:** The modular system will allow to operate at different levels of production, which guarantees the versatility of the equipment in its use in homes. The sequential design of the modular system, starting with filtration, will allow the care of the fillings of the following columns, the activated carbon column will retain chlorine and potential contaminants such as odor, color and heavy metals and the UV column will guarantee the safety of the water. treated. It was considered in the construction of the modular system, the ease of assembly and disassembly for its transfer, replacement and cleaning of fillings and the UV lamp with an operation manual that guarantees its proper operation.

Keywords: Modular design, filter, activated carbon, softener, ultraviolet.

[1] Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: jaredcarlos@outlook.es

INTRODUCCIÓN

El estudio de diseño y construcción modular de un sistema para asegurar la calidad de agua potable para uso en viviendas se realizó en la ciudad de Huacho en el año 2018.

Se realizó ante una problemática presentada habitualmente en las viviendas de la localidad, que por su naturaleza de almacenamiento del agua potable se evidencian diferentes puntos potenciales de contaminación con ingreso de materiales particulados y/o microbiológicos. Por otro lado, en la empresa prestadora de servicios, los análisis se realizan con equipos de medición con una determinada sensibilidad, en consecuencia, no detecta impurezas químicas en el orden de trazas inferiores a una parte por trillón. Situación que nos hace preguntar los efectos nocivos de los contaminantes como los metales pesados que al ser ingeridas se acumulan en el cuerpo humano. Asimismo, en la ciudad de Huacho la dureza está bordeando los 500 ppm de $CaCO_3$, la existencia de estudios sobre ello conlleva a la necesidad de su reducción. Por otro lado, el control microbiológico se realiza a través de la cloración, con la consecuencia que es un producto con un grado de toxicidad para el ser humano.

Tales situaciones me conllevo a diseñar un sistema modular de tratamiento de aguas para uso en viviendas para asegurar su calidad en la ingesta de alimentos y bebidas de los usuarios. Por otro lado, considerando las particularidades entre cada vivienda, para el diseño se consideró un sistema modular, adaptable y versátil para cada situación y demanda familiar. Para ello se dispuso secuencia de unidades de tratamiento empezando la filtración y seguida por columnas de carbón activado, columna de intercambio ciclo sodio y columna de tratamiento microbiológico por rayos ultravioleta.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En el mundo, el agua se hace cada vez más escaso y a la vez se encuentra más contaminada. Al respecto, la Organización Mundial de la Salud (OMS, s.f), indica que la contaminación de las aguas es una preocupación en todos los países, que afecta a la salud de las personas (párr. 1).

En Latinoamérica, los principales ríos se encuentran contaminadas por actividades antrópicas, como la minería, industria, agricultura, disposición de residuos sólidos y efluentes domiciliarios. Todo ello ocasiona conflictos con los residentes y en algunos casos grave afectación a la salud humana por su consumo.

En el Perú, un país dedicado a la actividad minera desde hace muchos años, se observa que empresas minero metalúrgicas tratan sus efluentes líquidos y lo disponen en ríos como cuerpos receptores. Aunque el ente rector nacional, norma los Límites Máximos Permisibles (LMP) para su disposición, los efluentes dispuestos al río podrían acumular contaminantes inorgánicos como metales pesados en el orden de trazas. Po otro lado, la actividad agrícola en nuestro país es muy importante, viéndose desfavorecida por la ineficacia en el control de uso de agroquímicos que contamina las agua y las napas freáticas.

En la provincia de Huaura, la Empresa Prestadora de Servicio (EPS) Aguas Lima Norte (2018), opera 11 pozos tubulares para abastecer agua potable. Se encarga de verificar la calidad de agua en la producción y servicio, para abastecer diariamente a usuarios del distrito de Huacho, Hualmay, Sayán y Végueta (párr. 1).

En el distrito de Huacho, sus residentes en la gran mayoría consumen agua potable sin ningún tipo de tratamiento y en el peor de los casos no la almacenan adecuadamente. El almacenamiento del agua potable es diferente entre una vivienda a otra, con diferentes puntos potenciales de ingreso de material particulado. En cuanto a impurezas químicas, es preciso indicar que todos los equipos de medición utilizados para controlar y monitorear la calidad del agua tienen una sensibilidad, lo que equivale a decir que no detectan trazas de contaminantes químicos en el orden inferior a las partes por trillón y además las leyes reguladoras de disposición de efluentes y calidad del agua están dadas como limites en partes por millón.

Estas dos consideraciones permiten tener la posibilidad de que el agua potable que se consume este potencialmente contaminada con metales pesados, cloro, agroquímicos, dureza excesiva y otros. En la localidad para la desinfección del agua potable se utiliza el cloro residual, Geissler y Arroyo (2011) indica que es un químico toxico para la salud humana (p. 115). En ese sentido, estos contaminantes físicos y químicos en el agua potable podrían ocasionar efectos perjudiciales a la salud de los consumidores.

Tal situación preocupante y como residente de esta localidad en base a las consideraciones expuestas, se diseña y construye un sistema de tratamiento para el agua potable en las viviendas, para asegurar su calidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el diseño para la construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué parámetros deben considerarse para el diseño del sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?
- ¿Cómo será el diseño de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?
- ¿Cómo se realizará en base al diseño planteado, la construcción de un sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?
- ¿Cómo debe operarse el sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Realizar el diseño y construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.
- Realizar el diseño de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.
- Realizar la construcción en base al diseño planteado del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.
- Realizar el procedimiento de operación del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

El estudio brindará una alternativa para el aseguramiento de la calidad de agua potable de consumo, ampliando conocimiento sobre el tema y base para futuras investigaciones.

1.4.2 Justificación práctica

El estudio servirá para ser tomados como antecedentes para futuras investigaciones, brindando una configuración de tratamiento físico, químico y microbiológico para el aseguramiento e inocuidad del agua. Disponiendo de un método práctico de tratamiento con materiales y accesorios accesibles en el mercado nacional.

1.4.3 Justificación legal

Con el estudio se pretende en primer lugar adquirir el título profesional, cumpliendo con mis objetivos propuestos en cumplimiento a las leyes y normas de calidad de agua potable.

1.4.4 Justificación metodológica

SE presenta una metodología para el diseño de unidades de tratamiento físico, químico y microbiológico a usarse en viviendas, con el uso de tablas y gráficos para la facilidad de interpretación a los usuarios de las viviendas. Contribuyendo con el desarrollo de nuevos estudios.

1.5 Delimitaciones del estudio

1.5.1 Delimitación Espacial

Lugar	:	Urbanización Huacho G-12, lote 2.
Distrito	:	Huacho.
Provincia	:	Huaura.
Departamento	:	Lima.

1.5.2 Delimitación Temporal

Meses : Diciembre.

Año : 2018.

1.5.3 Delimitación teórica

Diseño de unidades de tratamiento de agua potable.

Construcción de unidades de tratamiento de agua potable.

1.6 Viabilidad del estudio

1.6.1 Viabilidad técnica

Se dispone de los conocimientos técnicos respecto al tratamiento de aguas e información especializada de organismos internacionales y nacionales. Por otro lado, en nuestro país es accesible materiales, insumos, accesorios y equipos de tratamiento de agua. En la localidad se dispone de tuberías y accesorios para considerar en el diseño y construcción del sistema modular.

1.6.2 Viabilidad ambiental

En la realización del estudio, no se generan impactos ambientales negativos. Para su operación se generará soluciones de salmuera en la regeneración de resinas no perjudiciales al entorno.

1.6.3 Viabilidad financiera

Para el diseño y construcción está garantizado por el investigador, quien utilizará el equipo en su vivienda.

1.6.4 Viabilidad social

Sociablemente es muy favorable, porque asegura la calidad de consumo de agua en la localidad de Huacho, y que pueden ser utilizados en otros lugares con situaciones similares en la calidad de fuente de agua.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Jorge-Sánchez, Daquinta-Gradaille, García-Álvarez y Fernández-Sánchez (2018), Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba, realizaron un estudio donde diseña y construye un sistema modular para la purificación de agua de consumo humano utilizando varias tecnologías. En sus resultados, indica la utilización de módulos de tratamiento magnético, módulo de suavizado, módulo de filtración con carbón activado, módulo de esterilización con lámpara UV y ozono; y un módulo con micro filtros y ósmosis inversa. Evidencian la reducción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos como turbiedad de 15 a 0 NTU, cloro libre de 1 a 0 mg/l, dureza de 323 a 15 mg/l $CaCO_3$, coliformes fecales de 3 a < 2 NMP/100 cm^3 y coliformes totales de 4 a < 2 NMP/100 cm^3. Concluyendo que con el uso del sistema modular se mejora la calidad del agua purificada, superiores a aguas embotelladas nacionales e internacionales.

López (2016), Escuela Politécnica Nacional. Ecuador, en su trabajo de investigación construyó y evaluó un sistema de desinfección con ultravioleta. Sus resultados obtenidos indican que se construyó un equipo de desinfección con UV de acero inoxidable de diámetro 12,7 cm y longitud de 78,5 cm, con una lámpara Ster L Ray modelo GPH843T5L con salida UV-C de 15 W con emisión de 110,17 mW/cm^2. Para un caudal de 2 l/s (velocidad de flujo de 0,16 m/s y un tiempo de retención de 4,94 s) se tiene una capacidad del 99,99 % de remoción coliformes totales desde 1 085 NMP/ml. Entre sus conclusiones, indica que, para

un tiempo de exposición de 22 segundos, se remueven el 99,99 % de microorganismos inoculados en el rango de 1 500 a 15 000 NMP/ml.

Reyna (2014), Instituto Politécnico Nacional, México, realizó una investigación del uso del intercambio iónico en el campo de la purificación, su regeneración en base al tipo de resina aplicada. Llegando a concluir que la aplicabilidad del intercambio iónico se da en muchos sectores de la industria, incluyendo la industria alimentaria, por tanto, no se restringe a un solo uso, estimando que en el futuro se utilice para la remoción de otros iones metálicos, siendo los principales problemas en su uso la regeneración de la resina en forma eficiente, la disponibilidad recuperación de la solución y el tiempo de vida de las resinas.

Samayoa (2013), Universidad de San Carlos de Guatemala, diseñó y construyó unidades del sistema de purificación, seleccionando la tecnología conformada por bomba de agua, filtro de arena sílica, filtro con cartucho de 10 micrones, filtro con cartucho de 5 micrones y carbón activado, desinfección con luz ultravioleta y ozono e inyección de gases con un dispositivo Venturi. Llegando a concluir que se diseñó de forma modular el equipo de purificación, constituida por unidad de bombeo, prefiltración, filtración, sistema UV-ozono y mezcla-despacho. Asimismo, manifiesta que gracias a su diseño modular y flexibilidad puede ser utilizado también a nivel familiar.

Noboa (2008), Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, realizo el diseño y construcción de un filtro con carbón activado con objeto de remover el cloro a una relación óptima de agua y carbón. Obtuvo una remoción de cloro del 98 % a una relación agua:carbón activado 50:1, donde la remoción de cloro residual se ve influenciada grandemente por las veces de regeneración del carbón activado, el cual disminuye su capacidad de remoción. Concluyendo que se debe trabajar con carbón activado de menor tamaño el cual aumenta su capacidad de decloración, donde el volumen de carbón activado requerido dependerá del nivel de cloración del agua potable. Asimismo, recomienda que el retrolavado de la unidad

debe realizarse al menos una vez al día y utiliza un filtro de arena previo al carbón activado para su cuidado.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Rossel, Rossel, Ferro, Ferro y Zapana (2020), Universidad Nacional del Altiplano, Puno, realizaron un estudio de evaluación de coliformes totales y termotolerantes por uso de Radiación Ultravioleta clase C. Para una de radiación UV-C 0,00176 W/cm^2/s (longitud de onda 254 nm), midió a 1, 2, 3, y 4 segundos de exposición, obteniendo 200, 165, 59 y 0 UFC/100 ml coliformes totales y 4, 3, 1 y 0 UFC/100 ml de coliformes termotolerantes. Concluyendo que se requiere cuatro segundos como mínimo a esta radiación.

Rossi (2017), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, planteó analizar la calidad de agua de la fuente, su purificación mediante cuatro medios filtrantes y un análisis posterior del proceso de filtración con los rellenos. Entre sus resultados determinó la calidad de agua procesada de una turbiedad de 210 UNT, manganeso, plomo, cadmio, arsénico y boro de 0,120, 0,033, 0,009, 0,134 y 5,1 mg/l, el filtro respectivamente. Para columnas rellenas con carbón activado y cenizas de cascarilla de arroz presenta una reducción en la turbidez de 99,99 % y una remoción de manganeso, plomo, cadmio, arsénico, boro de 84,17, 0,0, 11,11, 8,96 y 21,57 % respectivamente. Entre sus conclusiones manifiesta que el filtro logró mejorar la calidad de agua, recomendando su uso para labores y más no como insumo en la procesadora de alimentos.

Valles, Mori y Ojeda (2013), Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos planteó determinar el material, accesorios a utilizar en su construcción y evaluar el grado de contaminación de la fuente de agua posterior a la operación de filtración, determinando sus condiciones de diseño. Entre sus resultados indica el uso de acero inoxidable como material en la construcción de los tres filtros, en su interior se dispuso desde el fondo 10 cm de grava gruesa, 10 cm de grava fina, 20 cm de carbón activado, 20 cm de arena, respecto a la calidad

de agua la turbiedad en la fuente y posterior a las unidades de filtración fue de 28,7 y 4 NTU con dureza total constante, manifiesta que para el diseño se consideró la calidad suministrada de agua, condiciones del clima, caudal de alimentación, composición del medio filtrante y condiciones de operación. Los autores concluyen que la remoción de turbiedad por las unidades de filtración reduce significativamente, cumpliendo con la normativa para consumo humano.

Chávez, Linares y Reátegui (2010), Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, determinó las variables de diseño y construcción del equipo, selección de tipo de resina y el material adecuado para la construcción. Entre sus resultados indica las variables más importantes para el diseño como el volumen interno del módulo, volumen y altura de resina y caudal de alimentación; selecciona para el ablandador la resina catiónica ciclo sodio, eligiendo materiales de PVC entre tuberías, válvula esférica, codos de 90°, Te, adaptador, grifos, unión universal y reducción. Entre sus conclusiones, considera para el diseño del módulo de la resina sus parámetros, caudal de alimentación y materiales de PVC.

Nunja (2007), universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión – Huacho, evaluó las características del agua potable anterior y posterior al tratamiento con la columna de resina ciclo sodio y después del blending. En sus resultados observó ocho pozos en la ciudad de Huacho, la dureza de los pozos cambian de un pozo a otro y en los años reportados, así como para el periodo 1995 al 2002 la dureza reportada estuvo entre 136 a 492 ppm de $CaCO_3$, para el año 2005 de 372 a 620 ppm de $CaCO_3$, y el año 2006 de 280 a 466 $CaCO_3$, respecto al blending para una dureza de 464 ppm de $CaCO_3$ en el agua potable, si se mezcla con un 50 % de agua blanda (0 ppm $CaCO_3$) se obtendrá 232 ppm de $CaCO_3$. El autor, indica que la dureza en el agua potable excede los parámetros dispuestos por los organismo nacionales e internacionales, en tal sentido de acuerdo a la dureza de la fuente de agua potable se deberá mezclar con agua blanda hasta un valor máximo de 300 pm de $CaCO_3$.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Calidad del agua

Sobre las fuentes de agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) indica que, en fuentes de agua sin tratamiento, los análisis de verificación soy muy importantes. Su frecuencia de análisis dependerá de los objetivos previstos para el muestreo (p. 80).

Según el Reglamento de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2011), indica que el proveedor es responsable de su calidad, garantizará el cumplimiento de normativas y requisitos sanitarios (p. 18).

Indica además DIGESA (2011) los análisis obligatorios que deben monitorearse son el residual de desinfectante, el color, la turbiedad, el pH y los coliformes totales y termotolerantes (p. 28).

Se indica en la Tabla 1, los parámetros contaminantes con sus límites.

Tabla 1

Calidad organoléptica permisible para la calidad del agua potable

Parámetro	LMP
Olor	Aceptable
Sabor	Aceptable
Color	15 UCV escala Pt/Co
Turbiedad	5 UNT
pH	6,5 a 8,5 de pH
Dureza total	500 mg $CaCO_3$/l

Nota. DIGESA (2011, pp. 38-42).

2.2.1.1 Calidad organoléptica del agua

Se entiende por parámetros organolépticos a aquellos que pueden ser percibidos sensorialmente por el consumidor (DIGESA, 2011, p. 10).

a) Turbiedad

Sierra (2011) indica que la turbiedad es la capacidad de obstruir el paso de luz un material suspendido en el agua.

b) Color

También Sierra (2011) indica que el color está muy relacionado a la turbiedad, considera que el color es ocasionado por coloides y sólidos disueltos (p. 56).

c) Olor y sabor

Sierra (2011) indica que están íntimamente ligados de ahí que se nombran en conjunto. Para el consumidor están asociados con sustancias indeseables (p. 57).

2.2.1.2 Calidad química del agua

La OMS (2018) referente a la calidad química del agua manifiesta que para la evaluación de su calidad se basa en comparación con valores referenciales de contaminantes químicos que garanticen su seguimiento y vigilancia (p. 31).

Los parámetros inorgánicos, se considera a los compuestos en el agua de consumo humano con enlaces diferentes al carbono hidrógeno (DIGESA, 2011, p. 10).

Se define los principales contaminantes químicos que su falta de control acarrearía en daños a la salud humana.

a) Dureza

Según Sierra (2011) el agua dura corta el jabón aumentando su consumo. Además, indica que a altas temperaturas produce incrustaciones cuando es calentada en equipos y tuberías (p. 64).

b) Metales pesados

En lo que concierne a los metales pesados, Romero (2010) manifiesta la existencia de varios criterios para definirlas, entre ellas: su alta densidad, su ubicación en la tabla

periódica, su respuesta específica zoológica o botánica y su toxicidad. Incluye a Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Pb, Zinc, Fe, Hg, Ti, V, Nb, M, Mo y Mn (p. 60).

2.2.1.3 Calidad microbiológica del agua

La OMS (2018) indica que para verificar la calidad microbiológica del agua se utiliza indicadores como Escherichia coli o alternativamente, coliformes termotolerantes y no debe estar presente en el agua de consumo humano. Para agentes patógenos específicos es limitada a brotes o para medir la eficacia del plan de seguridad del agua (pp. 30, 31).

Se define a continuación los microrganismos más comúnmente encontrados en las fuentes de agua.

a) Bacteria coliforme totales

La OMS (2018), indica que tanto el Escherichia coli con los coliformes termotolerantes pertenecen al grupo de coliformes totales. Si desinfectado el agua potable se tiene presencia de coliformes totales, ésta es un indicador de un mal tratamiento del agua (p. 343).

b) Escherichia coli y bacterias coliformes termotolerantes

Asimismo, la OMS (2018) considera que el indicador de la contaminación fecal más adecuando es el Escherichia coli. En su mayoría los coliformes termotolerantes están compuestas por E. coli, indicador aceptable de contaminación fecal, pero menos confiable como indicador el E. coli de una contaminación fecal reciente (p. 344).

2.2.2 Tratamientos de agua para potabilización

2.2.2.1 Unidades de tratamiento físico

a) Sedimentación

Vergara (1984) indica que mediante la sedimentación las partículas en suspensión se decanten al fondo de la unidad (p. 92).

Tabla 2

Tiempo de sedimentación de sólidos en suspensión en aguas de reposo

Diámetro de la partícula en mm		Orden de magnitud	Tiempo de sedimentación para recorrer un pie
Sedimentación	10,0	Grava.	0,3 s
	1,0	Arena gruesa.	3,0 s
	0,1	Arena fina.	38 s
Coagulación	0,01	Cieno.	33 min
	0,001	Bacterias.	35 h
	0,0001	Partículas de arcilla.	230 días
	0,00001	Partículas coloidales.	63 años

A 100 °C y p.e. de la partícula es de 2,65.

Nota. (Vergara 1984, p. 92).

b) Filtración

Vergara (1984) considera a la filtración como la operación de retener los sólidos en suspensión que contiene el agua haciendo pasar por un medio poroso. Estos siempre vienen después anteceden a los ablandadores de agua (p. 100).

2.2.2.2 Unidades de tratamiento químico

a) Columna de intercambio cinco

Sobre los materiales de construcción utilizados habitualmente en la columna de intercambio iónico Vergara (1984) indica que son generalmente metálicos o de plásticos de forma cilíndrica (p. 170).

Asimismo, Vergara (1984) indica los factores que condicionan el diseño de las unidades de intercambio, entre ellas: calidad y caudal del agua cruda alimentada, su flujo

ascendente o descendente, vida útil y activación de la resina, frecuencia de regeneración, pureza y tipo del regenerante, facilidad de operación y mantenimiento, controles instalados, temperatura, pH, calidad del agua deseada (p. 171).

Etapas de operación.

Vergara (1984) indica cuatro etapas en el proceso de intercambiador iónico: a*blandamiento,* donde se intercambia la resina hasta su agotamiento; llegando a su límite máximo de intercambio, retrolavado a contracorriente, tiene la finalidad de limpiar la resina de cualquier sólido en suspensión proveniente del agua alimentada, regeneración, para recuperar la capacidad de intercambio de la resina con una substancia que recupere a la resina su ion perdido y enjuague, con la finalidad de eliminar rastros de regenerante para evitar contaminación en el servicio de la unidad (p. 170).

Ablandamiento de agua

De Dardel (2019a) Indica que la resina ciclo sodio contiene iones Na^{+}, que se intercambia con los de Ca^{+2} y Mg^{+2} contenidas en el agua dura ocasionando su ablandamiento (párr. 2).

$$2\ RNa + Ca^{+2} \longrightarrow R_2Ca + 2\ Na^{+}$$

La Figura 1 ilustra el proceso de ablandamiento.

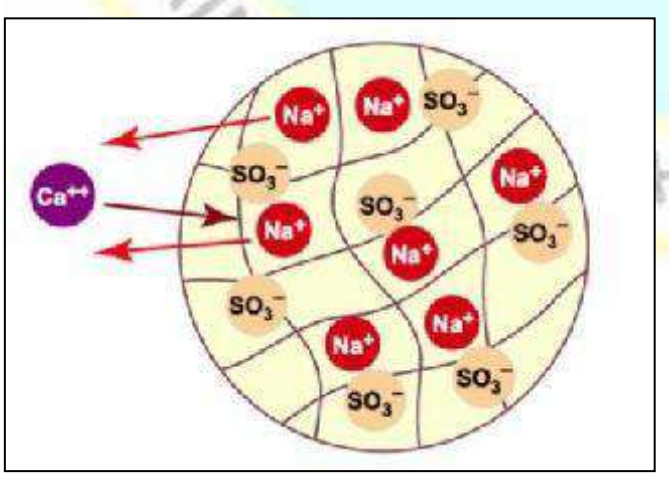


Figura 1. Ablandamiento de iones de calcio con la de sodio de la resina

Nota. (De Dardel, 2019a).

Regeneración de un ablandador

Asimismo, De Dardel (2019b) expresa que para la regeneración ocurre la reacción inversa anterior, donde los Ca^{+2} y Mg^{+2} se reponen a través de los iones de Na^{+} suministrada con una solución de cloruro de sodio (NaCl) concentrada.

$$R_2Ca + 2\ NaCl \longrightarrow 2\ RNa + CaCl_2$$

Para ello recomienda utilizar una concentración de salmuera del 10 % (párr. 1, 2).

b) Columnas de adsorción con activado

Carbón activado

Material granulado en el tratamiento de aguas los contaminantes se adhieren a la superficie del carbón. Elimina para la presencia de pequeñas cantidades de algunos metales (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2012, párr. 1).

Funcionamiento

Según EPA (2012) indica que las columnas con carbón activado pueden trabajar en forma ascendente y descendente. Para el caso del agua, sus contaminantes se adhieren a las caras internas y externas del gránulo. Se cambia los gránulos una vez alcanzado la saturación o en su defecto se regeneran para eliminar los contaminantes adheridos (párr. 2).

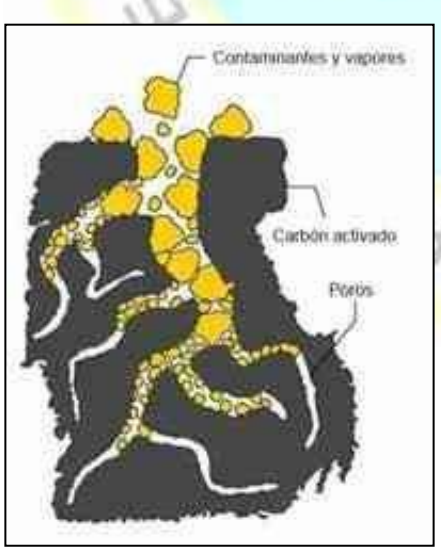


Figura 2. Contaminantes y vapores adheridos al carbón activado.

Nota. (EPA, 2012).

Tiempo de retención

El tiempo de residencia en las columnas de carbón tardan apenas unos minutos. Pero, si consideramos la concentración de los contaminantes en el agua afectará en el tiempo de remoción (EPA, 2012, párr. 5).

2.2.2.3 Unidades de tratamiento microbiológico

La OMS (2018), manifiesta que para asegurar el suministro es importante su desinfección para eliminar los microrganismos patógenos (p. 7).

a) Tratamiento con UV

Respecto a la desinfección con luz ultravioleta Geissler y Arroyo (2011) indica que es un aparato tubular circular donde está interiormente la lámpara UV y por donde circula el agua, la distancia entre protector de cuarzo de la lámpara UV y la pared del tubo del equipo no debe ser muy larga y a la vez si se trata agua a altos caudales se deberá aumentar la intensidad de la lámpara UV para asegurar que toda el agua reciba suficiente luz, desactivando los microorganismos por reacción fotoquímicas causadas en su ADN propiciando su deceso o impidiendo su propagación (pp. 123, 124).

b) Tratamiento con ozono (O_3)

Asimismo, respecto al tratamiento con ozono Geissler y Arroyo (2011) indica que es un gas tóxico de un olor penetrante y con un potencial de oxidación superior al del cloro y el dióxido de cloro (p. 120).

c) La cloración con cloro elemental (Cl_2)

El cloro es el más difundido como desinfectante, Geissler y Arroyo (2011) indica que pueden utilizarse diferentes fuentes de cloro como cloro elemental (Cl_2), el dióxido de cloro (ClO_2), hipoclorito de sodio (NaClO), y la cloramina (NH_2Cl). Compuestos fuertemente oxidantes y tóxicas par el hombre (p. 115).

2.3 Bases filosóficas

Para DOMUNI (2013) la filosofía de la naturaleza abarca una reflexión filosófica del mundo natural conjuntamente con los cuerpos celestes, la materia a nivel de sus componentes y compuestos y los seres vivos. Considera los avances en conocimientos de la ciencia experimental yendo más allá del estudio de sus causas y resultados de la ciencia experimental (pp. 2, 3).

2.4 Definición de términos básicos

Agua cruda

"El término agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente (lluvia superficial, subterránea, océanos, etc.), que no ha recibido ningún tratamiento ni modificaciones en su estado natural" (Sierra, 2011, p. 48).

Agua blanda.

"Agua libre de sales de calcio y magnesio" (Camacho y Ariosa, 2000, p. 19).

Agua contaminada.

Según Camacho y Ariosa (2000) indica "Agua cuyos usos previstos se han comprometido como resultado del deterioro de su calidad original, producto de la incorporación de elementos contaminantes" (p. 19).

Agua tratada

Sierra (2011) expresa:

> Se entiende por agua tratada aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarla en algún uso beneficio. La calidad del agua tratada depende del uso que se le vaya a asignar o a dar. (p. 52)

Calidad del agua

Sierra (2011) define:

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: i) Una lista de concentraciones especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la composición y el estado de la biótica acuática presente en el cuerpo de agua. (p. 47)

Contaminante

Camacho y Ariosa (2000) define:

Sustancia química, biológica o radiológica, en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier elemento natural altera y cambia su composición y condición natural. (p. 29)

Efluente

"Residual líquido, tratado o sin tratar, que se origina en un proceso industrial o actividad social y se dispone generalmente en los suelos o diversos cuerpos de agua superficiales o subterráneos" (Camacho y Ariosa, 2000, p. 35).

Filtración

"Proceso en el que se opera la separación de sustancias en diferentes estados de agregación" (Camacho y Ariosa, 2000, p. 39).

Sedimentación

"Proceso de acumulación excesiva de sedimentos sueltos en zonas muy bajas que constituye una afectación al suelo, a las aguas y a los fondos marinos" (Camacho y Ariosa, 2000, p. 56).

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

- El diseño posibilita la construcción del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Se identifica el consumo familiar semanal de agua potable, el caudal e impurezas potenciales del agua potable disponibles en las viviendas.
- El diseño del sistema modular comprende módulo de tratamiento físico (filtro), tratamiento químico (columna de adsorción con carbón activado y columna de intercambio iónico ciclo sodio) y tratamiento microbiológico (columna de lámpara UV).
- La construcción del sistema modular, se realiza secuencialmente en base al diseño planteado, de acuerdo a sus impurezas, iniciando por tratamiento físico, seguida del químico y culminando en el microbiológico.
- El procedimiento de operación permitirá manejar adecuadamente el sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.

2.6 Operacionalización de las variables

Según Córdova (2017) indica que "Operalizacionalizar una variable consiste en identificar sus dimensiones (si tuviera), subdimensiones (si tuviera) y sus respectivos indicadores" (p. 66).

Para ello, de acuerdo al nivel descriptivo, se identifican las dos variables (Tabla 3).

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Operacionalización de variables			
			Dimensión	Sub dimensión	Indicador	Escala
Variable de caracterización. 1. Diseño del sistema modular para uso en viviendas.	"El Diseño Modular se refiere a aquellos sistemas que están previstos, desde la fase de concepto, ser diseñados para utilizarlos en distintos productos, plataformas o arquitectura" (Muffatto y Roveda, 2002, como se cita en Echevarría-Quintana, 2015, p. 32).	Previo al diseño se identifica los parámetros de consumo familiar y la calidad del agua. Se diseña módulos para reducir y asegurar las impurezas físicas, químicas y biológicas.	1.1 Parámetros de diseño.	• Consumo familiar semanal de agua potable. • Caudal de alimentación agua potable. • Impurezas potenciales en el agua potable.	• Número de habitantes por vivienda. • Consumo per cápita alimentos y bebida. • Ciclo de producción de la unidad. • Factor de seguridad. • Volumen. • Tiempo de funcionamiento. . • Impurezas físicas. • Impurezas químicas. • Impurezas microbiológicas.	Razón. Razón. Razón Razón. Razón. Razón. Nominal. Nominal. Nominal.
			1.2 Diseño del sistema modular.	• Unidad de tratamiento físico. • Unidades de tratamiento químico. • Unidad de tratamiento microbiológico. • Sistema modular.	• Capacidad del módulo. • Diseño del módulo. • Capacidad del módulo. • Diseño del módulo intercambio iónico ciclo sodio. • Capacidad del módulo. • Diseño del módulo. • Diseño del sistema modular.	Razón. Nominal. Razón Nominal. Razón. Nominal. Nominal.
Variable de interés. 2. Construcción del sistema modular para uso en viviendas.	Deben cumplir con las funciones para las cuales fue concebido y con las especificaciones para cada uno de sus usos. Las relaciones entre el resto de los sistemas se estrechan debido a que comparten en alto grado de información y funciones (Dahmus et al, 2001, como se cita en Echevarría-Quintana, 2015, p. 32).	Tras el diseño, se utilizaron materiales de PVC de venta en ferreterías locales. Se construye considerando su mantenimiento y operación.	2.1 Construcción del sistema modular. 2.2 Operación del sistema modular.	• Configuración. • Servicio. • Retrolavado. • Regeneración. • Lavado.	• Montaje del sistema modular. • Procedimiento. • Procedimiento. • Procedimiento. • Procedimiento.	Nominal. Nominal. Nominal. Nominal. Nominal.

Nota. Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

Según BIOESTADISTICO (2012a, 0:25 - 1:46) indica los tipos de investigación clasificándola de acuerdo a la intervención, planificación, número de mediciones y variables. En consecuencia a ello, el estudio realizado presento la siguiente tipificación:

a) **Observacional:** En el recojo de los datos de accesorios y materiales requeridos en el diseño y construcción del sistema modular.

b) **Prospectivo:** el recojo de datos fueron realizadas por el investigador.

c) **Transversal:** La variable es medida en una sola oportunidad.

d) **Descriptivo:** A consecuencia, se debe a que el estudio presenta una sola variable subdividida en diseño y construcción.

3.1.2 Nivel de investigación

Respecto a los niveles de investigación, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) define cuatro niveles de investigación: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos (pp. 106, 108, 110, 112).

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) sobre el estudio de nivel descriptivo, indicando que están orientados al estudio de personas individuales, sus comunidades, los procesos, objetos u otros fenómenos; buscando detallar sus características, particularidades y propiedades (p. 108). Por las consideraciones expuestas, el estudio corresponde a un nivel descriptivo.

3.1.3 Diseño

Córdova (2017) manifiesta que el diseño se utiliza para responder a las preguntas de investigación. Entre los diseños descriptivos indica el diseño descriptivo simple (p. 74).

De acuerdo al tipo de investigación de carácter descriptiva, el diseño para el estudio corresponde a un diseño descriptivo simple.

M.....O

M: muestra.

O: observación de la variable.

3.1.4 Enfoque

Sobre los enfoques de investigación, de acuerdo a la naturaleza de los datos recabados, Córdova (2017) considera dos rutas de investigación: a) la investigación cuantitativa busca medir y cuantificar las variables. b) la investigación cualitativa presenta una perspectiva interpretativa (p. 10).

En el estudio de diseño y construcción presenta un *enfoque mixto*. Para el diseño del sistema modular se utiliza el enfoque cuantitativo donde se operan datos numéricos y en la construcción del sistema modular se utiliza el enfoque cualitativo donde se da las configuraciones de la presentación del sistema modular.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Carrasco (2017) indica que la población "es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolló el trabajo de investigación" (pp. 236, 237).

Población: Sistema modular de tratamiento de agua potable de uso en viviendas en el año 2018.

3.2.2 Muestra

Carrasco (2017) indica que "es una parte o fragmento representativo de la población" (p. 237). El estudio al corresponder al diseño y posterior construcción del sistema modular de tratamiento de aguas, corresponde a un censo.

Censo: Sistema modular de tratamiento de agua potable de uso en viviendas en el año 2018.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas a emplear

Para el estudio, se tiene información facilitada por empresas especializadas en la venta de materias e insumos para el tratamiento de aguas; así como, normas de entidades relacionadas a la calidad del agua potable. En cuanto al diseño y construcción del sistema modular, se basará en la experiencia del investigador y en tal sentido, se utilizarán las técnicas documentación y observación.

a) Documentación

Según BIOESTADISTICO (2012b, 0:18 - 1:07) indica que es una técnica usada para recolectar datos, siendo muy básica e inexacta.

b) Observación

Asimismo, BIOESTADISTICO (2012b, 1:08 - 1:59) indica que con la observación se evitan errores y confusiones mediante mecanismos establecidos para ello, siendo además científica, sistémica y controlada.

3.3.2 Descripción de los instrumentos

Para cada técnica de recolección de datos se utilizaron:

Instrumento para las técnicas documentales

Ficha documental.

Instrumentos para técnicas de observación.

Ficha de observación.

Cinta métrica.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Para el diseño y construcción del sistema modular se utilizó secuencialmente el proceso de mejora continua, ciclo de Deming (PHVA):

Planificación

Se diseñó el sistema modular de acuerdo a la normativa de calidad de agua potable considerando sus potenciales contaminantes del agua potable.

Hacer

En la ejecución, se construyó el equipo modular de acuerdo a los planos detallados en el diseño con los criterios de seguridad y salud ocupacional del personal de construcción.

Verificación

Lo que respecta a la operación del sistema modular en las diferentes etapas de operación, regeneración y limpieza de sus unidades.

Ajuste

Permitirá al usuario variar la producción por servicio del sistema modular de acuerdo a su requerimiento particular de agua potable.

En cada etapa se exponen tablas y gráficos para que el usuario de un determinado grupo familiar ajuste su operación con las consideraciones técnicas del equipo construido.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Diseño del sistema modular para uso en viviendas

4.1.1.1 Parámetros de diseño

a) Consumo familiar semanal de agua potable

Para el diseño del sistema modular se considerará que ésta debe satisfacer las necesidades semanales de un grupo familiar. Se considera para ello los siguientes datos:

Número de habitantes por vivienda	:	N	=	04 hab/vivienda.
Consumo per cápita alimentos y bebidas	:	Cp	=	3 litros/hab/día.
Frecuencia de producción del sistema	:	D	=	7 días.
Factor de seguridad (10 %)	:	Fs	=	1,10

Se determina el volumen de agua potable (V) que tratará el equipo en base a la siguiente fórmula:

$$V = N \cdot Cp \cdot D \cdot Fs$$

$$V = 99{,}5 \text{ litros.}$$

Por tanto, para el diseño del sistema modular se considerará una producción cada semana de 100 litros.

b) Caudal de agua potable alimentada al sistema modular

Se determina el caudal de agua potable alimentada en cada servicio al sistema modular, considerando para ello:

Tiempo de funcionamiento del sistema modular : Tf = 12 horas

Volumen de agua potable alimentada : V = 100 litros

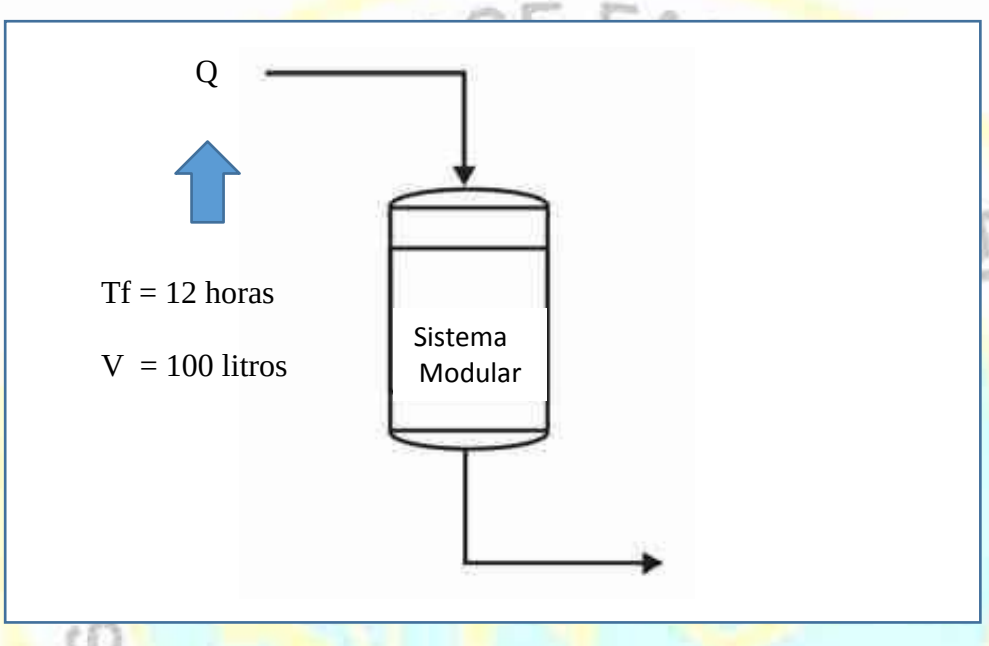


Figura 3. Representación de cálculo del caudal de agua potable alimentada.

Nota. Elaboración propia.

El caudal (Q), se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{Tf}$$

Q = 0,140 l/min = 140 ml/min.

Para elecciones alternativas, se elabora la Tabla 4, que permite calcular el caudal a diferentes volúmenes de producción semanal y tiempos de funcionamiento del sistema modular. El resultado anterior se representa en la Figura 4.

Tabla 4

Caudal de agua potable alimentada respecto el volumen y tiempo de operación del sistema modular

Funcionamiento	Caudal de agua potable alimentada (ml/min)														
h	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
2	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60	10,80	12,00	13,20	14,40	15,60	16,80	18,00
4	2,40	4,80	7,20	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20	21,60	24,00	26,40	28,80	31,20	33,60	36,00
6	3,60	7,20	10,80	14,40	18,00	21,60	25,20	28,80	32,40	36,00	39,60	43,20	46,80	50,40	54,00
8	4,80	9,60	14,40	19,20	24,00	28,80	33,60	38,40	43,20	48,00	52,80	57,60	62,40	67,20	72,00
10	6,00	12,00	18,00	24,00	30,00	36,00	42,00	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00	90,00
12	7,20	14,40	21,60	28,80	36,00	43,20	50,40	57,60	64,80	72,00	79,20	86,40	93,60	100,80	108,00
16	9,60	19,20	28,80	38,40	48,00	57,60	67,20	76,80	86,40	96,00	105,60	115,20	124,80	134,40	144,00
20	12,00	24,00	36,00	48,00	60,00	72,00	84,00	96,00	108,00	120,00	132,00	144,00	156,00	168,00	180,00
24	14,40	28,80	43,20	57,60	72,00	86,40	100,80	115,20	129,60	144,00	158,40	172,80	187,20	201,60	216,00

Nota. Elaboración propia.

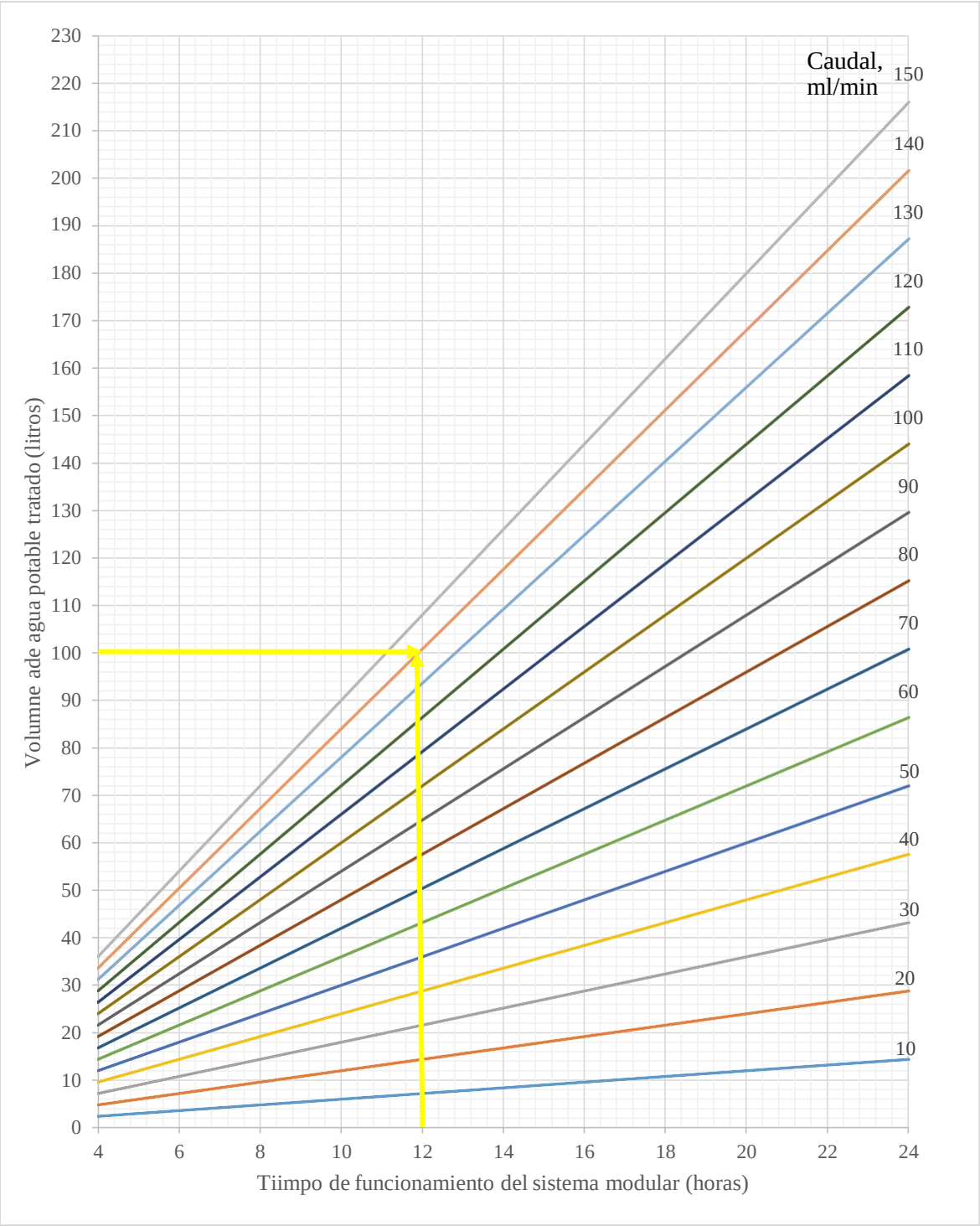


Figura 4. Caudal de agua potable alimentada respecto el volumen y tiempo de operación del sistema modular

Nota. Elaboración propia.

c) Impurezas potenciales en el agua potable.

Es una realidad que en la gran mayoría de Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), no determinan frecuentemente todos los parámetros. En tal sentido, para el estudio se evaluó su calidad en viviendas mediante un análisis cualitativo mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5

Análisis cualitativo de las impurezas potenciales del agua potable

Parámetro	Impurezas	Peligro potencia	Justificación
Físico	Sólidos en suspensión	Ingreso de polvo y/o material particulado.	Los depósitos de tanques de recepción en domicilios y en algunos casos tanques superiores están descubiertos a la atmósfera
Químico	Dureza	Sales de Ca y Mg	Dureza excesiva en el agua potable. Se considerará para el diseño 500 ppm de $CaCO_3$.
	Cloro residual	Su defecto y exceso	El cloro agregado al agua como medio desinfectante trae efectos secundarios para la salud de los consumidores. Para que le cloro residuales se mantenga inferiores a 0,5 ppm. Se dosifica y distribuye en las redes inicialmente a altas concentraciones.
	Metales pesados	Trazas	El agua potable en la zona se abastece a través de pozos tubulares. Presentándose actividad minera en las zonas altas, su presencia en trazas no debe ser descartada.
	Agroquímicos	Trazas	Además de la consideración anterior. La zona es altamente agrícola, donde en los campos de cultivo dosifican diferentes tipos de agroquímicos, que podría infiltrarse hasta las napas freáticas, por lo que su presencia en trazas no debe ser descartada.
Microbiológico	Material contaminando	Ingreso abundante	Probabilidad baja de contaminación microbiológica por el cloro residual suministrada por la EPS. Aunque, por deficiencias en su almacenamiento podría presentarse su contaminación a través del ingreso de sólidos contaminados.

Nota. Elaboración propia.

4.1.1.2 Diseño del sistema modular

a) Unidad de tratamiento físico

Capacidad del módulo

Para la unidad de tratamiento físico, se selecciona un filtro con las características mostradas en la Tabla 6, en vista que los sólidos suspendidos son mínimas en el agua potable y no es conveniente en este caso la instalación de filtros de arena, que en lugar de mejorar la calidad la disminuiría.

Tabla 6

Análisis cualitativo de los contaminantes potenciales del agua potable

Datos técnicos	Detalle
Material	Polipropileno.
Presión de trabajo	0,5 a 7 kg/cm^2
Temperatura de operación	4 a 60 °C.
Cartucho	Filtro estándar FES-01r.
Tela filtrante	Poliéster plegado.
Rendimiento	Retención de 85 % de sólidos.
	Mayores a 50 micras.

Nota. (Rotoplas filtros, 2017, p. 10)

Diseño del modulo

A : Tapa.

B : Reductores de ¾ a ½ Pulgada.

C : Cartucho filtrante.

D : Sello.

E : Vaso.

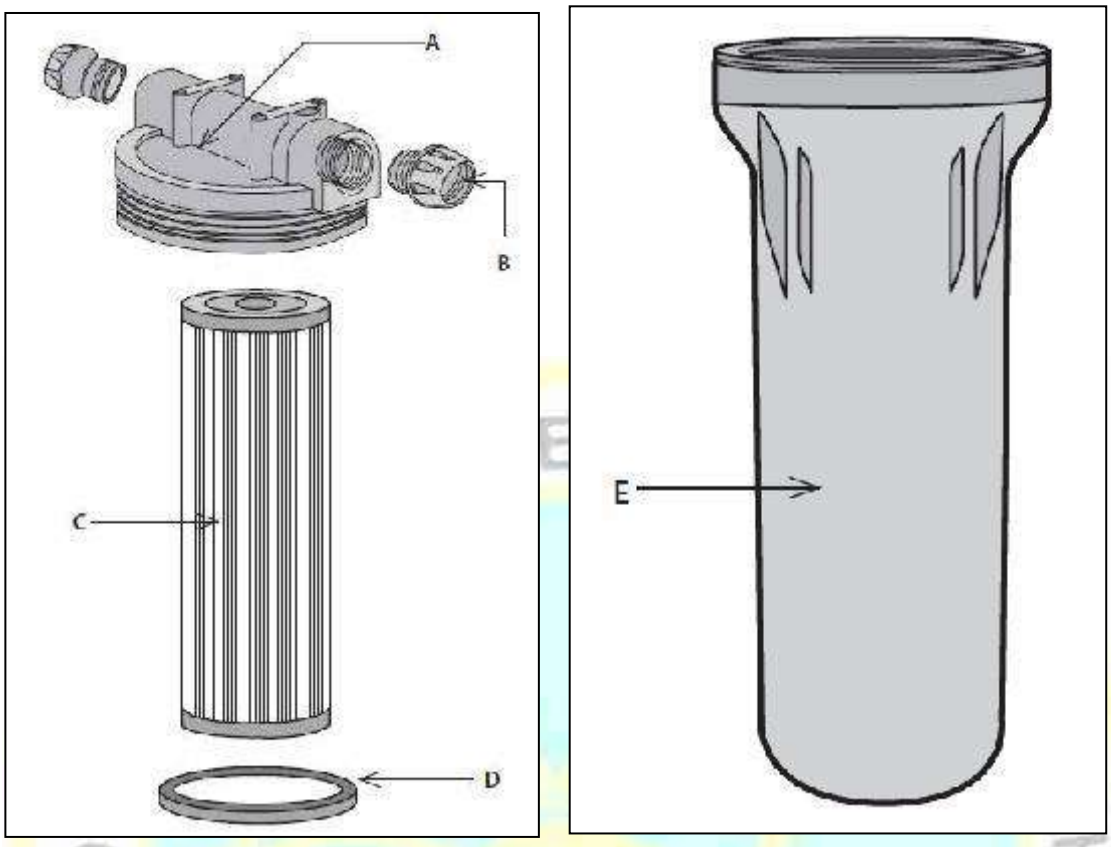


Figura 5. Componentes interiores del filtro

Nota. (Rotoplas filtros, 2017, p. 2)

De acuerdo a la Tabla 6, los datos técnicos del sistema de filtración, indicando su porcentaje de remoción de sólidos y el material de construcción con los parámetros operacionales.

Recomienda

Asegurar la presión de agua adecuada para la alimentación al filtro.

Verificar que el filtro no esté rasgada.

Verificar que el filtro este correctamente cerrado.

b) Unidades de tratamiento químico

- Diseño de la columna de adsorción con carbón activado.

Capacidad del módulo de carbón activado

Para asegurar la remoción completa de cualquier impureza potencial como olor, color y otros perjudiciales a la salud como metales pesados y cloro residual. La capacidad del módulo de acuerdo a las dimensiones de las tuberías de agua disponibles.

Diámetro interior módulo de carbón	DI	=	0,105 m
Altura de carbón activado en la columna	Hc	=	0,46 m

Se determina el volumen de carbón (Vc):

$$Vc = \frac{\pi . (DI)^2}{4} . Hc$$

Vc = 3,983 litros = 0,141 pie^3

Se determina también el tiempo de retención en el carbón (TRc):

Caudal de alimentación	:	Q = 140 ml/min
Volumen de carbón en la columna	:	Vc= 3,983 litros

El tiempo de retención en la columna de carbón (TRc) se calcula de la siguiente manera:

$$TRc = \frac{Vc}{Q}$$

TRc = 28 min.

Dimensionado para que tenga un bajo tiempo de retención. Considerando que éste es mucho menor de acuerdo a la porosidad del relleno de carbón en la columna. Por tanto, los 28 minutos calculados directamente aseguran la remoción completa de potenciales contaminantes químicos.

Diseño del módulo de carbón activado

Dimensionamiento de la columna de adsorción con carbón activado. En base a las consideraciones anteriores, se presenta el diseño de la unidad en las Figura 6 y 7.

Se indica en la Tabla 7 el consolidado de los accesorios y materiales utilizados en la construcción del módulo de adsorción con carbón activado.

Tabla 7

Requerimiento de accesorios y materiales para la columna de adsorción con carbón activado

N°	Descripción	Cantidad
1	Tubería de PVC 4 Pulg.	0,60 m
2	Tapa de PVC 4 Pulg.	02 und.
3	Unión mixta de PVC de ½ pulg.	02 und.
4	Tuvo de PVC de ½ pulg.	0,04 m
5	Tapón de PVC de ½ pulg.	02 und.
6	Adaptador de PVC de ½ pulg.	02 und.
7	O-ring de ½ pulg.	02 und.
8	Grava de 1/32 Pulg.	0,866 l = 0,031 pie^3
9	Carbón activado	3,983 l = 0,141 pie^3

Nota. Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

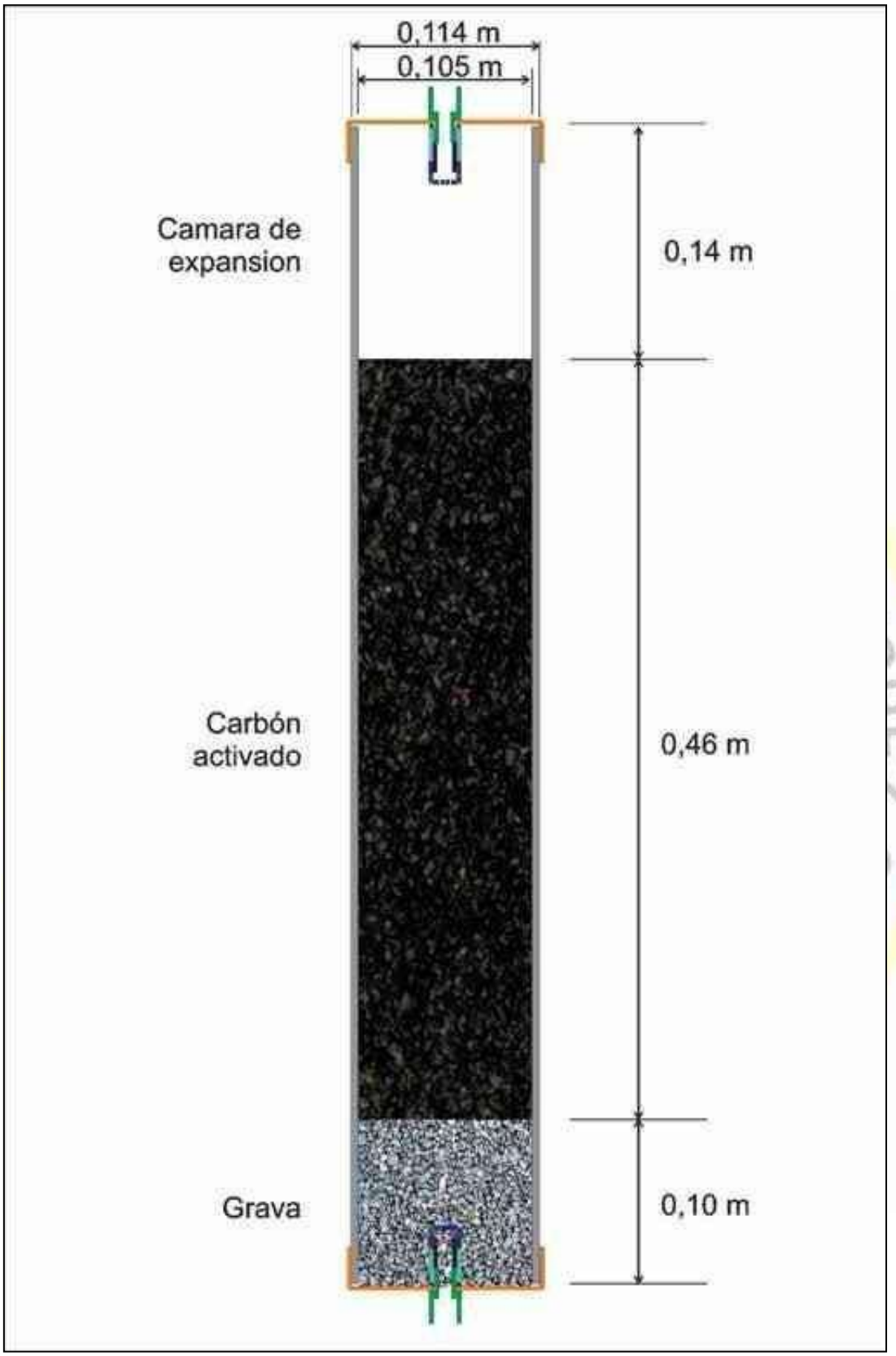


Figura 6. Dimensionamiento de la columna de adsorción con carbón activado.

Nota. Elaboración propia.

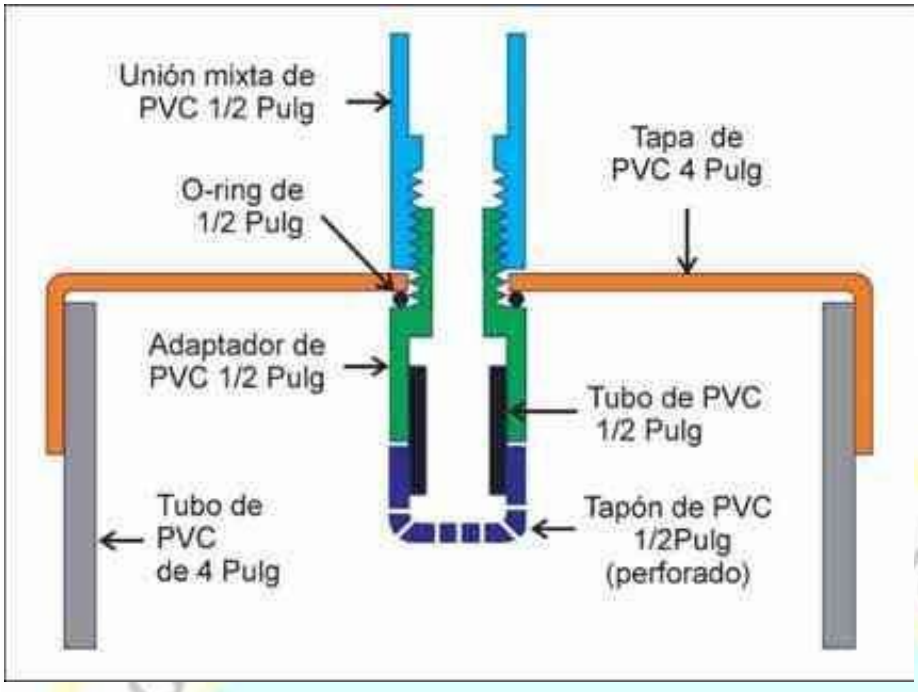


Figura 7. Detalle del montaje de tapas en la columna de adsorción con carbón activado.

Nota. Elaboración propia.

De las Figuras 6 y 7, se calcula parámetros importantes de operación para la columna diseñada, entre ellas el área de sección y el flux de operación.

Para calcular el área de sección de la columna (As), se tomaron los siguientes datos:

Diámetro interior	DI	=	0,105 m
Caudal	Q	=	140 l/min

Resultando:

$$As = \frac{\pi . (DI)^2}{4}$$

$$As = 0{,}0087\ m^2$$

Asimismo, para el cálculo del Flux de operación en la columna (F).

$$F = \frac{Q}{As}$$

$$F = 270\ l/m^2/s$$

- Diseño de la columna de intercambio ciclo sodio.

Dureza alimentada en el agua potable a la columna con resina. Se determina la cantidad de dureza alimentada a la columna (DAC) de intercambiador catiónico ciclo sodio, consideramos para ello:

Dureza del agua potable alimentada : DAPA = 500 ppm $CaCO_3$

Volumen de agua potable alimentada : VAPA = 100 litros

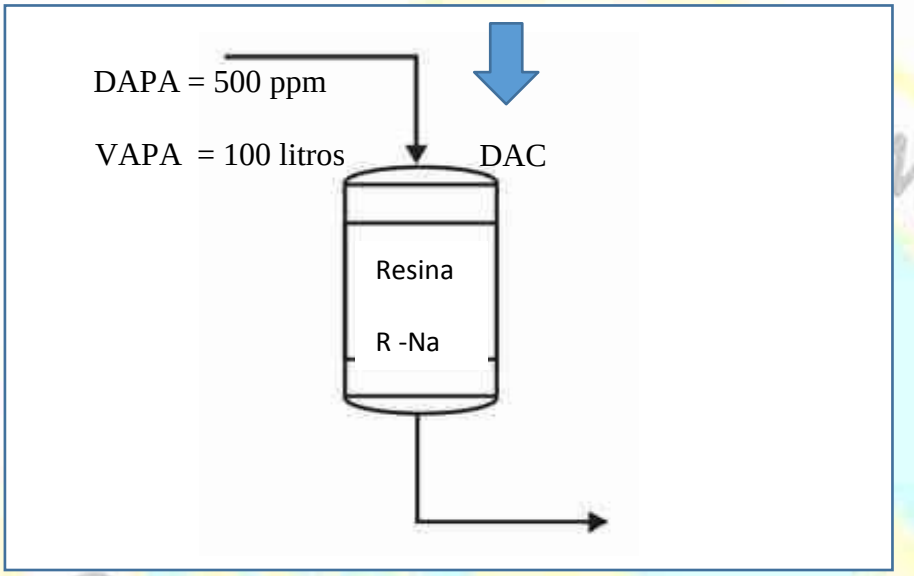


Figura 8. Representación de cálculo de dureza total alimentada a la columna.

Nota. Elaboración propia.

La dureza total alimentada a la columna (DAC), se calcula a través de la siguiente fórmula:

DAC = DAPA . VAPA

DAC = 500 ppm $CaCO_3$. (100 l)

DAC = 771,6 granos de $CaCO_3$

Para elecciones alternativas, se elabora la Tabla 8, que permite calcularla a diferentes condiciones de dureza y volumen del agua potable alimentada. El resultado anterior se representa en la Figura 9.

Tabla 8

Dureza alimentada a la columna (granos de $CaCO_3$) por volumen y dureza del agua potable alimentada

Agua potable alimentada		Dureza del agua potable alimentada (ppm y gpg) de $CaCO_3$*						
		50	100	150	200	250	300	350
litros	galones	2,921	5,841	8,762	11,682	14,603	17,523	20,444
10	2,642	7,7	15,4	23,1	30,9	38,6	46,3	54,0
20	5,284	15,4	30,9	46,3	61,7	77,2	92,6	108,0
30	7,926	23,1	46,3	69,4	92,6	115,7	138,9	162,0
40	10,568	30,9	61,7	92,6	123,5	154,3	185,2	216,1
50	13,210	38,6	77,2	115,7	154,3	192,9	231,5	270,1
60	15,852	46,3	92,6	138,9	185,2	231,5	277,8	324,1
70	18,494	54,0	108,0	162,0	216,1	270,1	324,1	378,1
80	21,136	61,7	123,5	185,2	246,9	308,6	370,4	432,1
90	23,778	69,4	138,9	208,3	277,8	347,2	416,7	486,1
100	26,420	77,2	154,3	231,5	308,6	385,8	463,0	540,1
110	29,062	84,9	169,8	254,6	339,5	424,4	509,3	594,1
120	31,704	92,6	185,2	277,8	370,4	463,0	555,6	648,2
130	34,346	100,3	200,6	300,9	401,2	501,5	601,9	702,2
140	36,988	108,0	216,1	324,1	432,1	540,1	648,2	756,2
150	39,630	115,7	231,5	347,2	463,0	578,7	694,5	810,2
160	42,272	123,5	246,9	370,4	493,8	617,3	740,7	864,2
170	44,914	131,2	262,3	393,5	524,7	655,9	787,0	918,2
180	47,556	138,9	277,8	416,7	555,6	694,5	833,3	972,2
190	50,198	146,6	293,2	439,8	586,4	733,0	879,6	1026,2
200	52,840	154,3	308,6	463,0	617,3	771,6	925,9	1080,3
210	55,482	162,0	324,1	486,1	648,2	810,2	972,2	1134,3
220	58,124	169,8	339,5	509,3	679,0	848,8	1018,5	1188,3
230	60,766	177,5	354,9	532,4	709,9	887,4	1064,8	1242,3
240	63,408	185,2	370,4	555,6	740,7	925,9	1111,1	1296,3

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Dureza alimentada a la columna (granos de $CaCO_3$) por volumen y dureza del agua potable alimentada (Continuación)

Agua potable tratada		Dureza del agua potable alimentada (ppm y gpg) de $CaCO_3$*						
		400	450	500	550	600	650	700
litros	galones	2,921	5,841	8,762	11,682	14,603	17,523	20,444
10	2,642	61,7	69,4	77,20	84,9	92,6	100,3	108,0
20	5,284	123,5	138,9	154,3	169,8	185,2	200,6	216,1
30	7,926	185,2	208,3	231,5	254,6	277,8	300,9	324,1
40	10,568	246,9	277,8	308,6	339,5	370,4	401,2	432,1
50	13,210	308,6	347,2	385,8	424,4	463,0	501,5	540,1
60	15,852	370,4	416,7	463,0	509,3	555,6	601,9	648,2
70	18,494	432,1	486,1	540,1	594,1	648,2	702,2	756,2
80	21,136	493,8	555,6	617,3	679,0	740,7	802,5	864,2
90	23,778	555,6	625,0	694,5	763,9	833,3	902,8	972,2
100	26,420	617,3	694,5	771,6	848,8	925,9	1003,1	1080,3
110	29,062	679,0	763,9	848,8	933,7	1018,5	1103,4	1188,3
120	31,704	740,7	833,3	925,9	1018,5	1111,1	1203,7	1296,3
130	34,346	802,5	902,8	1003,1	1103,4	1203,7	1304,0	1404,3
140	36,988	864,2	972,2	1080,3	1188,3	1296,3	1404,3	1512,4
150	39,630	925,9	1041,7	1157,4	1273,2	1388,9	1504,6	1620,4
160	42,272	987,7	1111,1	1234,6	1358,0	1481,5	1605,0	1728,4
170	44,914	1049,4	1180,6	1311,7	1442,9	1574,1	1705,3	1836,4
180	47,556	1111,1	1250,0	1388,9	1527,8	1666,7	1805,6	1944,5
190	50,198	1172,9	1319,5	1466,1	1612,7	1759,3	1905,9	2052,5
200	52,840	1234,6	1388,9	1543,2	1697,6	1851,9	2006,2	2160,5
210	55,482	1296,3	1458,4	1620,4	1782,4	1944,5	2106,5	2268,5
220	58,124	1358,0	1527,8	1697,6	1867,3	2037,1	2206,8	2376,6
230	60,766	1419,8	1597,2	1774,7	1952,2	2129,7	2307,1	2484,6
240	63,408	1481,5	1666,7	1851,9	2037,1	2222,2	2407,4	2592,6

* 1 granos por galón= 17,12 ppm $CaCO_3$

Nota. Elaboración propia.

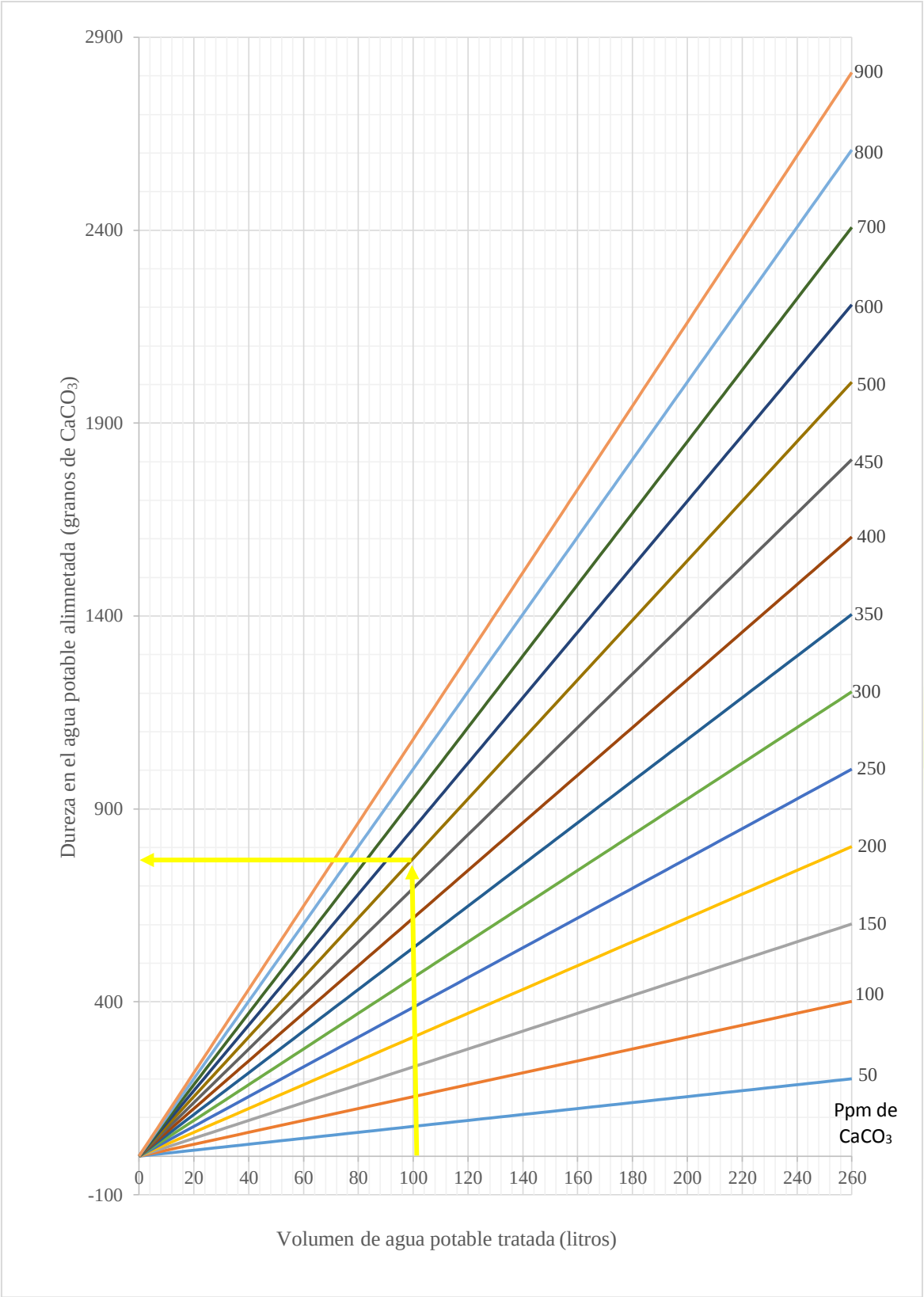


Figura 9. Dureza alimentada a la columna por volumen y dureza del agua potable alimentada.

Nota. Elaboración propia.

Cálculo del volumen de resina en la columna. Se determina el volumen de resina a utilizarse en el módulo de intercambiador iónico ciclo sodio (ablandador). Se seleccionó y consideró para ello lo siguiente.

Altura de resina : HR = 0,46 m

Diámetro interior de la columna : DI = 0,105 m

El volumen de resina (VR) se calcula:

$$VR = \frac{\pi . (DI)^2}{4} . HR$$

VR = 3,983 litros = 0,141 pie^3

Para elegir otras alternativas se presenta la Tabla 9, para el cálculo del volumen de resina de acuerdo a la altura de resina para una columna con diámetro interior de 0,105 m.

El resultado anterior se representa en la Figura 10.

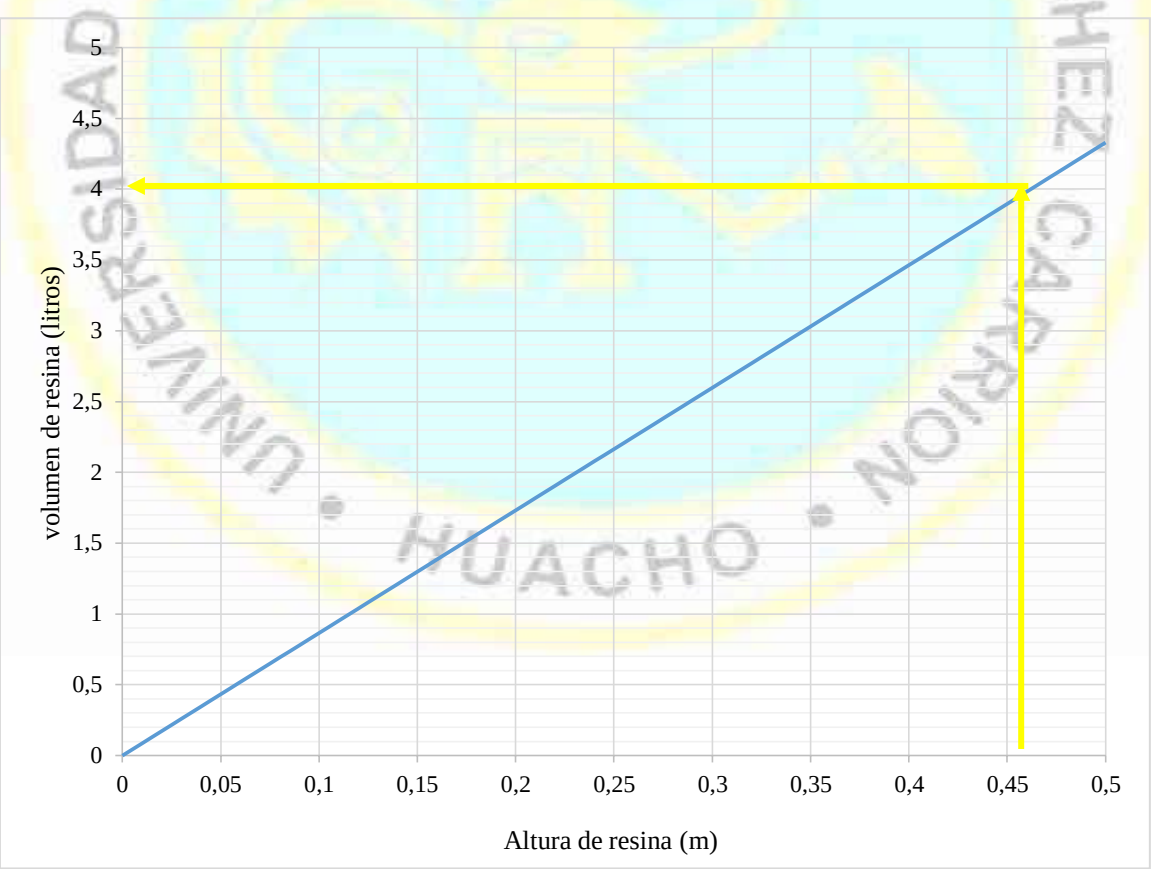


Figura 10. Volumen de resina con la altura en la columna para un DI de 0,105 m.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Volumen de resina con la altura en la columna para un DI de 0,105 m

Altura en la columna	Diámetro interior	Volumen de resina		
m	m	m^3	l	pie^3
0,02	0,105	0,000173	0,173	0,006
0,04	0,105	0,000346	0,346	0,012
0,06	0,105	0,000520	0,520	0,018
0,08	0,105	0,000693	0,693	0,024
0,10	0,105	0,000866	0,866	0,031
0,12	0,105	0,001039	1,039	0,037
0,14	0,105	0,001212	1,212	0,043
0,16	0,105	0,001385	1,385	0,049
0,18	0,105	0,001559	1,559	0,055
0,20	0,105	0,001732	1,732	0,061
0,22	0,105	0,001905	1,905	0,067
0,24	0,105	0,002078	2,078	0,073
0,26	0,105	0,002251	2,251	0,080
0,28	0,105	0,002425	2,425	0,086
0,30	0,105	0,002598	2,598	0,092
0,32	0,105	0,002771	2,771	0,098
0,34	0,105	0,002944	2,944	0,104
0,36	0,105	0,003117	3,117	0,110
0,38	0,105	0,003290	3,290	0,116
0,40	0,105	0,003464	3,464	0,122
0,42	0,105	0,003637	3,637	0,128
0,44	0,105	0,003810	3,810	0,135
0,46	0,105	0,003983	3,983	0,141
0,48	0,105	0,004156	4,156	0,147
0,50	0,105	0,004330	4,330	0,153

Nota. Elaboración propia.

Capacidad de dureza intercambiada en la columna con resina. Se determina la capacidad total de la resina en la columna, como dureza intercambiada en la columna de intercambiador ciclo sodio, considerando para ello:

Volumen de resina : VR = 3,983 litros

Capacidad de intercambio de la resina : CIR = 24 000 granos /pie^3 de resina

(De la ficha técnica de resina)

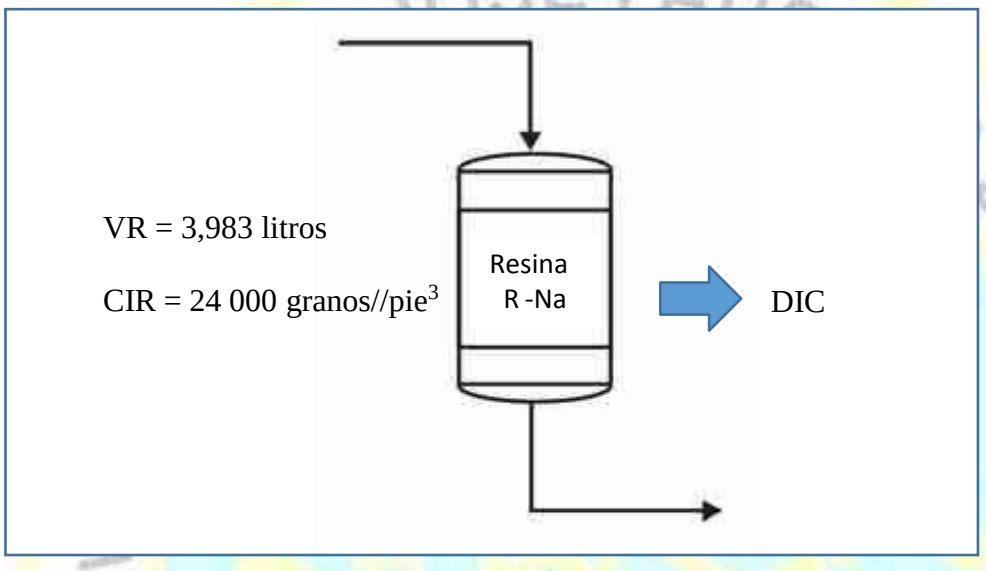


Figura 11. Representación de cálculo de dureza intercambiada en la columna.

Nota. Elaboración propia.

La dureza intercambiada en la columna (DIC), se calculó mediante la siguiente fórmula:

DIC = CIR.VR

DIC = 3 379 granos de $CaCO_3$.

Para un volumen de resina de 3,983 litros, dependiendo de la capacidad máxima de intercambio de la resina dada por el fabricante y considerando su eficiencia de intercambio, se elabora la Tabla 10 para su elección apropiada.

Asimismo, el resultado anterior se representa en la Figura 12 y 13.

Tabla 10

Dureza intercambiada en la columna en base a la cantidad y capacidad de intercambio de la resina ciclo sodio

Altura de resina	Volumen de Resina	Capacidad de intercambio de la resina ciclo sodio (granos/pie^3)						
m	pie^3	30000	28500	27000	25500	24000	22500	21000
0,02	0,006	183,5	174,3	165,1	156,0	146,8	137,6	128,4
0,04	0,012	366,9	348,6	330,3	311,9	293,6	275,2	256,9
0,06	0,018	550,4	522,9	495,4	467,9	440,3	412,8	385,3
0,08	0,024	733,9	697,2	660,5	623,8	587,1	550,4	513,7
0,10	0,031	917,4	871,5	825,6	779,8	733,9	688,0	642,2
0,12	0,037	1100,8	1045,8	990,8	935,7	880,7	825,6	770,6
0,14	0,043	1284,3	1220,1	1155,9	1091,7	1027,5	963,2	899,0
0,16	0,049	1467,8	1394,4	1321,0	1247,6	1174,2	1100,8	1027,5
0,18	0,055	1651,3	1568,7	1486,1	1403,6	1321,0	1238,5	1155,9
0,20	0,061	1834,7	1743,0	1651,3	1559,5	1467,8	1376,1	1284,3
0,22	0,067	2018,2	1917,3	1816,4	1715,5	1614,6	1513,7	1412,8
0,24	0,073	2201,7	2091,6	1981,5	1871,4	1761,4	1651,3	1541,2
0,26	0,080	2385,2	2265,9	2146,6	2027,4	1908,1	1788,9	1669,6
0,28	0,086	2568,6	2440,2	2311,8	2183,3	2054,9	1926,5	1798,0
0,30	0,092	2752,1	2614,5	2476,9	2339,3	2201,7	2064,1	1926,5
0,32	0,098	2935,6	2788,8	2642,0	2495,2	2348,5	2201,7	2054,9
0,34	0,104	3119,1	2963,1	2807,2	2651,2	2495,2	2339,3	2183,3
0,36	0,110	3302,5	3137,4	2972,3	2807,2	2642,0	2476,9	2311,8
0,38	0,116	3486,0	3311,7	3137,4	2963,1	2788,8	2614,5	2440,2
0,40	0,122	3669,5	3486,0	3302,5	3119,1	2935,6	2752,1	2568,6
0,42	0,128	3853,0	3660,3	3467,7	3275,0	3082,4	2889,7	2697,1
0,44	0,135	4036,4	3834,6	3632,8	3431,0	3229,1	3027,3	2825,5
0,46	0,141	4219,9	4008,9	3797,9	3586,9	3375,9	3164,9	2953,9
0,48	0,147	4403,4	4183,2	3963,0	3742,9	3522,7	3302,5	3082,4
0,50	0,153	4586,9	4357,5	4128,2	3898,8	3669,5	3440,1	3210,8

Nota. Elaboración propia.

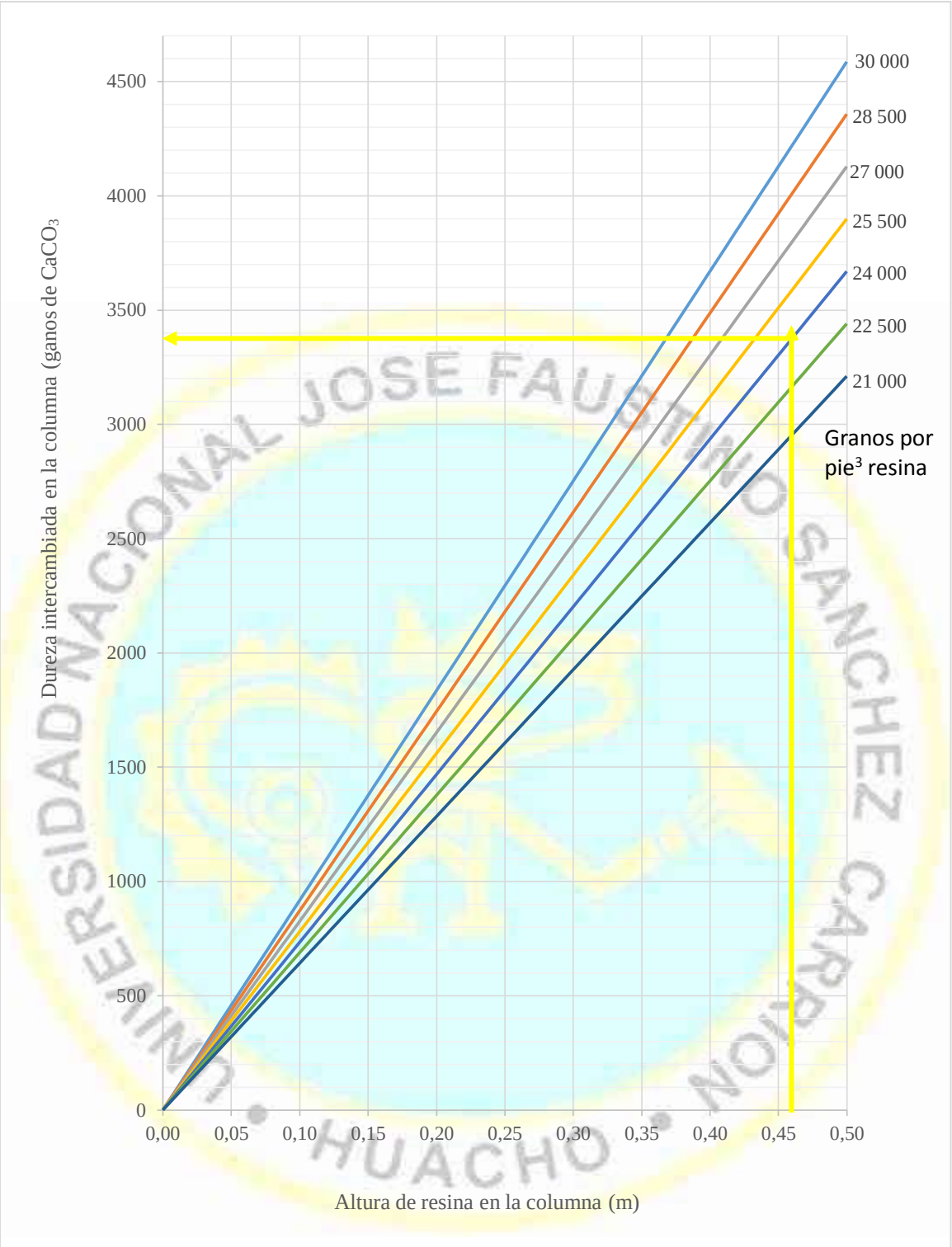


Figura 12. Dureza intercambiada en la columna en base a la altura y capacidad de intercambio de la resina.

Nota. Elaboración propia.

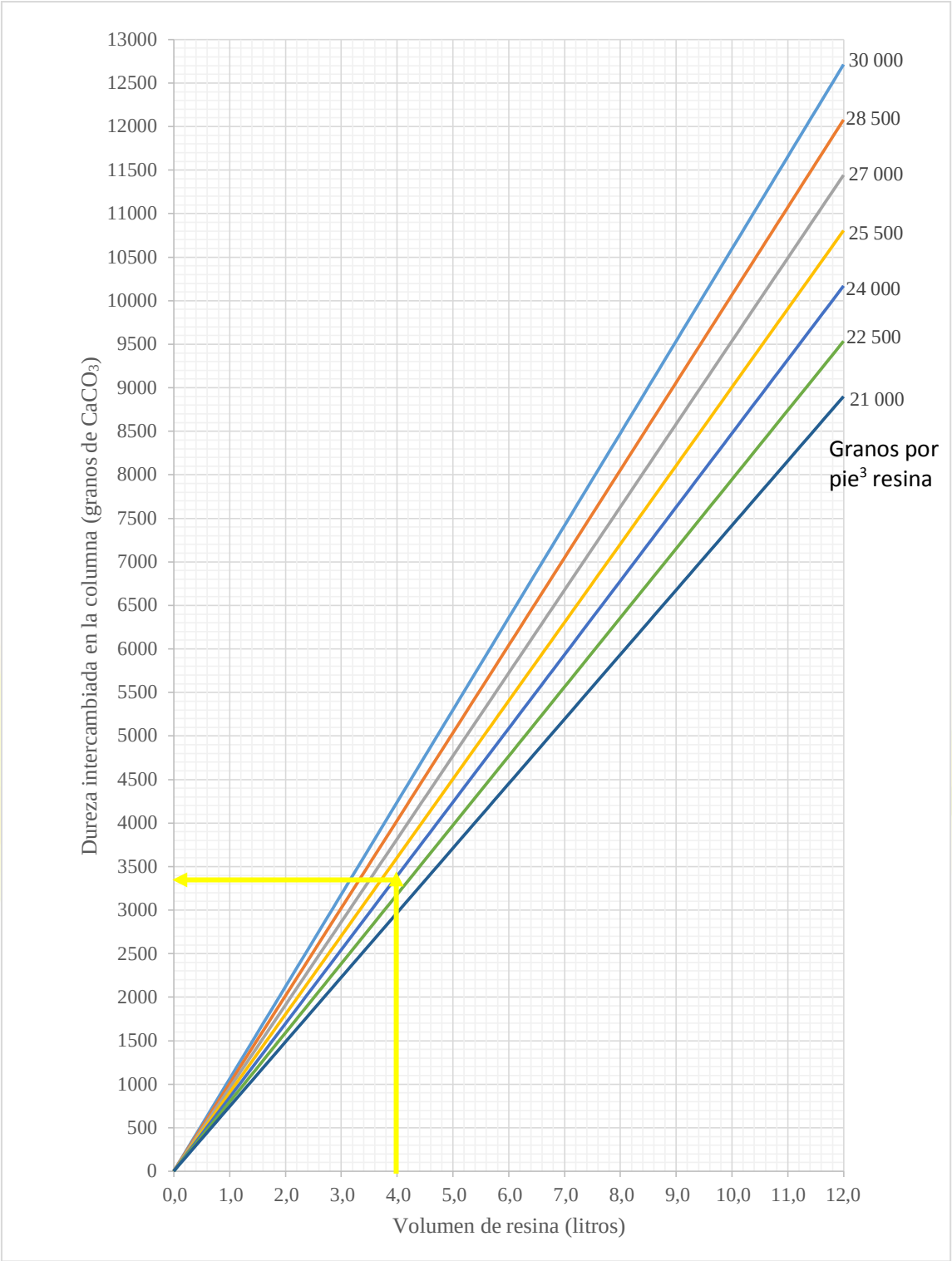


Figura 13. Dureza intercambiada en la columna en base al volumen y capacidad de intercambio de la resina.

Nota. Elaboración propia.

Frecuencia de operación de la columna de resina hasta su saturación. Se determina la frecuencia de operación de la columna de resina hasta su saturación, lo que equivale a calcular cuántas veces el volumen de agua potable tratada (V) se producirá hasta la saturación de la resina en el equipo intercambiador ciclo sodio. Para ello, se considera:

Volumen de agua potable tratada : V = 100 litros

Dureza alimentada a la columna : DAC = 771,6 granos de $CaCO_3$.

Dureza intercambiada en la columna : DIC = 3 379 granos de $CaCO_3$

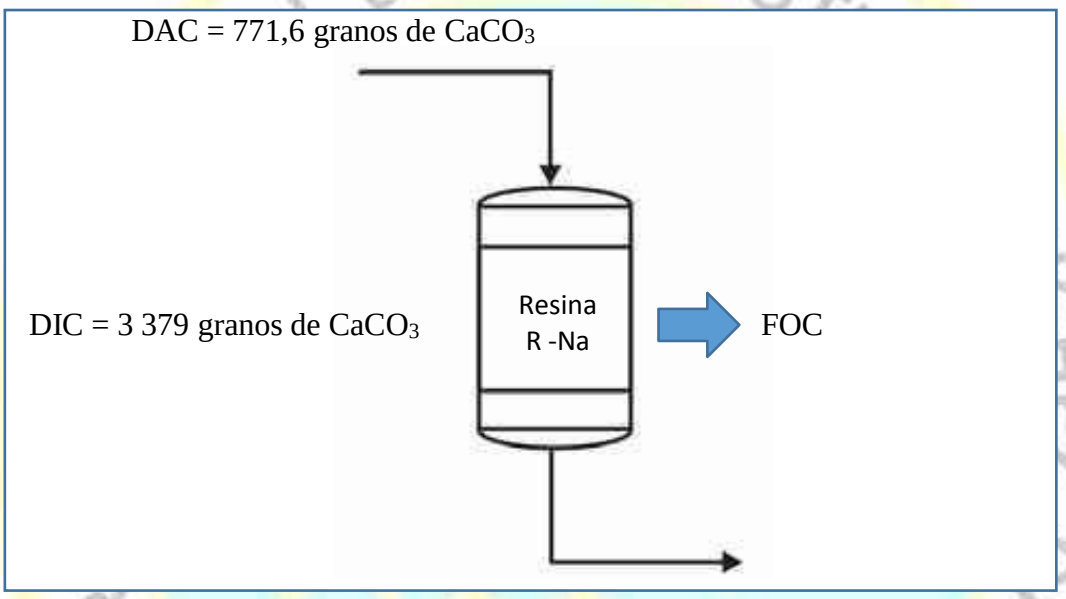


Figura 14. Representación de cálculo de frecuencia de operación de la columna.

Nota. Elaboración propia.

Se determina la frecuencia de operación de la columna (FOC) Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$FOC = \frac{DAC}{DIC}$$

FOC = 4,38 veces.

En la Tabla 11, se complementa para el cálculo rápido a diferentes valores de dureza alimentada e intercambiada en la columna de resina ciclo sodio.

El resultado se representa en la Figura 15, donde los 4,38 veces obtenido es menor a los siete días considerados como base de cálculo para la operación del sistema modular.

Tabla 11

Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación

Dureza alimentada (granos de $CaCO_3$)	Dureza intercambiada en la columna (granos de $CaCO_3$)									
	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
100	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00
150	2,67	4,00	5,33	6,67	8,00	9,33	10,67	12,00	13,33	14,67
200	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
250	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00	8,80
300	1,33	2,00	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33	6,00	6,67	7,33
350	1,14	1,71	2,29	2,86	3,43	4,00	4,57	5,14	5,71	6,29
400	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
450	0,89	1,33	1,78	2,22	2,67	3,11	3,56	4,00	4,44	4,89
500	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40
550	0,73	1,09	1,45	1,82	2,18	2,55	2,91	3,27	3,64	4,00
600	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,00	3,33	3,67
650	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85	2,15	2,46	2,77	3,08	3,38
700	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71	2,00	2,29	2,57	2,86	3,14
750	0,53	0,80	1,07	1,33	1,60	1,87	2,13	2,40	2,67	2,93
800	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
850	0,47	0,71	0,94	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,35	2,59
900	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,56	1,78	2,00	2,22	2,44
950	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	2,11	2,32
1 000	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20
1 050	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,71	1,90	2,10
1 100	0,36	0,55	0,73	0,91	1,09	1,27	1,45	1,64	1,82	2,00
1 150	0,35	0,52	0,70	0,87	1,04	1,22	1,39	1,57	1,74	1,91
1 200	0,33	0,50	0,67	0,83	1,00	1,17	1,33	1,50	1,67	1,83
1 250	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28	1,44	1,60	1,76
1 300	0,31	0,46	0,62	0,77	0,92	1,08	1,23	1,38	1,54	1,69
1 350	0,30	0,44	0,59	0,74	0,89	1,04	1,19	1,33	1,48	1,63
1 400	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,29	1,43	1,57
1 450	0,28	0,41	0,55	0,69	0,83	0,97	1,10	1,24	1,38	1,52
1 500	0,27	0,40	0,53	0,67	0,80	0,93	1,07	1,20	1,33	1,47
1 550	0,26	0,39	0,52	0,65	0,77	0,90	1,03	1,16	1,29	1,42

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación (continuación)

Dureza alimentada (granos de $CaCO_3$)	Dureza intercambiada en la columna (granos de $CaCO_3$)									
	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
100	24,00	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00
150	16,00	17,33	18,67	20,00	21,33	22,67	24,00	25,33	26,67	28,00
200	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00
250	9,60	10,40	11,20	12,00	12,80	13,60	14,40	15,20	16,00	16,80
300	8,00	8,67	9,33	10,00	10,67	11,33	12,00	12,67	13,33	14,00
350	6,86	7,43	8,00	8,57	9,14	9,71	10,29	10,86	11,43	12,00
400	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50
450	5,33	5,78	6,22	6,67	7,11	7,56	8,00	8,44	8,89	9,33
500	4,80	5,20	5,60	6,00	6,40	6,80	7,20	7,60	8,00	8,40
550	4,36	4,73	5,09	5,45	5,82	6,18	6,55	6,91	7,27	7,64
600	4,00	4,33	4,67	5,00	5,33	5,67	6,00	6,33	6,67	7,00
650	3,69	4,00	4,31	4,62	4,92	5,23	5,54	5,85	6,15	6,46
700	3,43	3,71	4,00	4,29	4,57	4,86	5,14	5,43	5,71	6,00
750	3,20	3,47	3,73	4,00	4,27	4,53	4,80	5,07	5,33	5,60
800	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25
850	2,82	3,06	3,29	3,53	3,76	4,00	4,24	4,47	4,71	4,94
900	2,67	2,89	3,11	3,33	3,56	3,78	4,00	4,22	4,44	4,67
950	2,53	2,74	2,95	3,16	3,37	3,58	3,79	4,00	4,21	4,42
1 000	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20
1 050	2,29	2,48	2,67	2,86	3,05	3,24	3,43	3,62	3,81	4,00
1 100	2,18	2,36	2,55	2,73	2,91	3,09	3,27	3,45	3,64	3,82
1 150	2,09	2,26	2,43	2,61	2,78	2,96	3,13	3,30	3,48	3,65
1 200	2,00	2,17	2,33	2,50	2,67	2,83	3,00	3,17	3,33	3,50
1 250	1,92	2,08	2,24	2,40	2,56	2,72	2,88	3,04	3,20	3,36
1 300	1,85	2,00	2,15	2,31	2,46	2,62	2,77	2,92	3,08	3,23
1 350	1,78	1,93	2,07	2,22	2,37	2,52	2,67	2,81	2,96	3,11
1 400	1,71	1,86	2,00	2,14	2,29	2,43	2,57	2,71	2,86	3,00
1 450	1,66	1,79	1,93	2,07	2,21	2,34	2,48	2,62	2,76	2,90
1 500	1,60	1,73	1,87	2,00	2,13	2,27	2,40	2,53	2,67	2,80
1 550	1,55	1,68	1,81	1,94	2,06	2,19	2,32	2,45	2,58	2,71

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación (continuación)

Dureza alimentada (granos de $CaCO_3$)	Dureza intercambiada en la columna (granos de $CaCO_3$)									
	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
1 600	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38
1 650	0,24	0,36	0,48	0,61	0,73	0,85	0,97	1,09	1,21	1,33
1 700	0,24	0,35	0,47	0,59	0,71	0,82	0,94	1,06	1,18	1,29
1 750	0,23	0,34	0,46	0,57	0,69	0,80	0,91	1,03	1,14	1,26
1 800	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00	1,11	1,22
1 850	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97	1,08	1,19
1 900	0,21	0,32	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05	1,16
1 950	0,21	0,31	0,41	0,51	0,62	0,72	0,82	0,92	1,03	1,13
2 000	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
2 050	0,20	0,29	0,39	0,49	0,59	0,68	0,78	0,88	0,98	1,07
2 100	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	0,95	1,05
2 150	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,65	0,74	0,84	0,93	1,02
2 200	0,18	0,27	0,36	0,45	0,55	0,64	0,73	0,82	0,91	1,00
2 250	0,18	0,27	0,36	0,44	0,53	0,62	0,71	0,80	0,89	0,98
2 300	0,17	0,26	0,35	0,43	0,52	0,61	0,70	0,78	0,87	0,96
2 350	0,17	0,26	0,34	0,43	0,51	0,60	0,68	0,77	0,85	0,94
2 400	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92
2 450	0,16	0,24	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73	0,82	0,90
2 500	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	0,88
2 550	0,16	0,24	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71	0,78	0,86
2 600	0,15	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85
2 650	0,15	0,23	0,30	0,38	0,45	0,53	0,60	0,68	0,75	0,83
2 700	0,15	0,22	0,30	0,37	0,44	0,52	0,59	0,67	0,74	0,81
2 750	0,15	0,22	0,29	0,36	0,44	0,51	0,58	0,65	0,73	0,80
2 800	0,14	0,21	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64	0,71	0,79
2 850	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63	0,70	0,77
2 900	0,14	0,21	0,28	0,34	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76
2 950	0,14	0,20	0,27	0,34	0,41	0,47	0,54	0,61	0,68	0,75
3 000	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,60	0,67	0,73

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación (continuación)

Dureza alimentada (granos de $CaCO_3$)	Dureza intercambiada en la columna (granos de $CaCO_3$)									
	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
1 600	1,50	1,63	1,75	1,88	2,00	2,13	2,25	2,38	2,50	2,63
1 650	1,45	1,58	1,70	1,82	1,94	2,06	2,18	2,30	2,42	2,55
1 700	1,41	1,53	1,65	1,76	1,88	2,00	2,12	2,24	2,35	2,47
1 750	1,37	1,49	1,60	1,71	1,83	1,94	2,06	2,17	2,29	2,40
1 800	1,33	1,44	1,56	1,67	1,78	1,89	2,00	2,11	2,22	2,33
1 850	1,30	1,41	1,51	1,62	1,73	1,84	1,95	2,05	2,16	2,27
1 900	1,26	1,37	1,47	1,58	1,68	1,79	1,89	2,00	2,11	2,21
1 950	1,23	1,33	1,44	1,54	1,64	1,74	1,85	1,95	2,05	2,15
2 000	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10
2 050	1,17	1,27	1,37	1,46	1,56	1,66	1,76	1,85	1,95	2,05
2 100	1,14	1,24	1,33	1,43	1,52	1,62	1,71	1,81	1,90	2,00
2 150	1,12	1,21	1,30	1,40	1,49	1,58	1,67	1,77	1,86	1,95
2 200	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,55	1,64	1,73	1,82	1,91
2 250	1,07	1,16	1,24	1,33	1,42	1,51	1,60	1,69	1,78	1,87
2 300	1,04	1,13	1,22	1,30	1,39	1,48	1,57	1,65	1,74	1,83
2 350	1,02	1,11	1,19	1,28	1,36	1,45	1,53	1,62	1,70	1,79
2 400	1,00	1,08	1,17	1,25	1,33	1,42	1,50	1,58	1,67	1,75
2 450	0,98	1,06	1,14	1,22	1,31	1,39	1,47	1,55	1,63	1,71
2 500	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60	1,68
2 550	0,94	1,02	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41	1,49	1,57	1,65
2 600	0,92	1,00	1,08	1,15	1,23	1,31	1,38	1,46	1,54	1,62
2 650	0,91	0,98	1,06	1,13	1,21	1,28	1,36	1,43	1,51	1,58
2 700	0,89	0,96	1,04	1,11	1,19	1,26	1,33	1,41	1,48	1,56
2 750	0,87	0,95	1,02	1,09	1,16	1,24	1,31	1,38	1,45	1,53
2 800	0,86	0,93	1,00	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36	1,43	1,50
2 850	0,84	0,91	0,98	1,05	1,12	1,19	1,26	1,33	1,40	1,47
2 900	0,83	0,90	0,97	1,03	1,10	1,17	1,24	1,31	1,38	1,45
2 950	0,81	0,88	0,95	1,02	1,08	1,15	1,22	1,29	1,36	1,42
3 000	0,80	0,87	0,93	1,00	1,07	1,13	1,20	1,27	1,33	1,40

Nota. Elaboración propia.

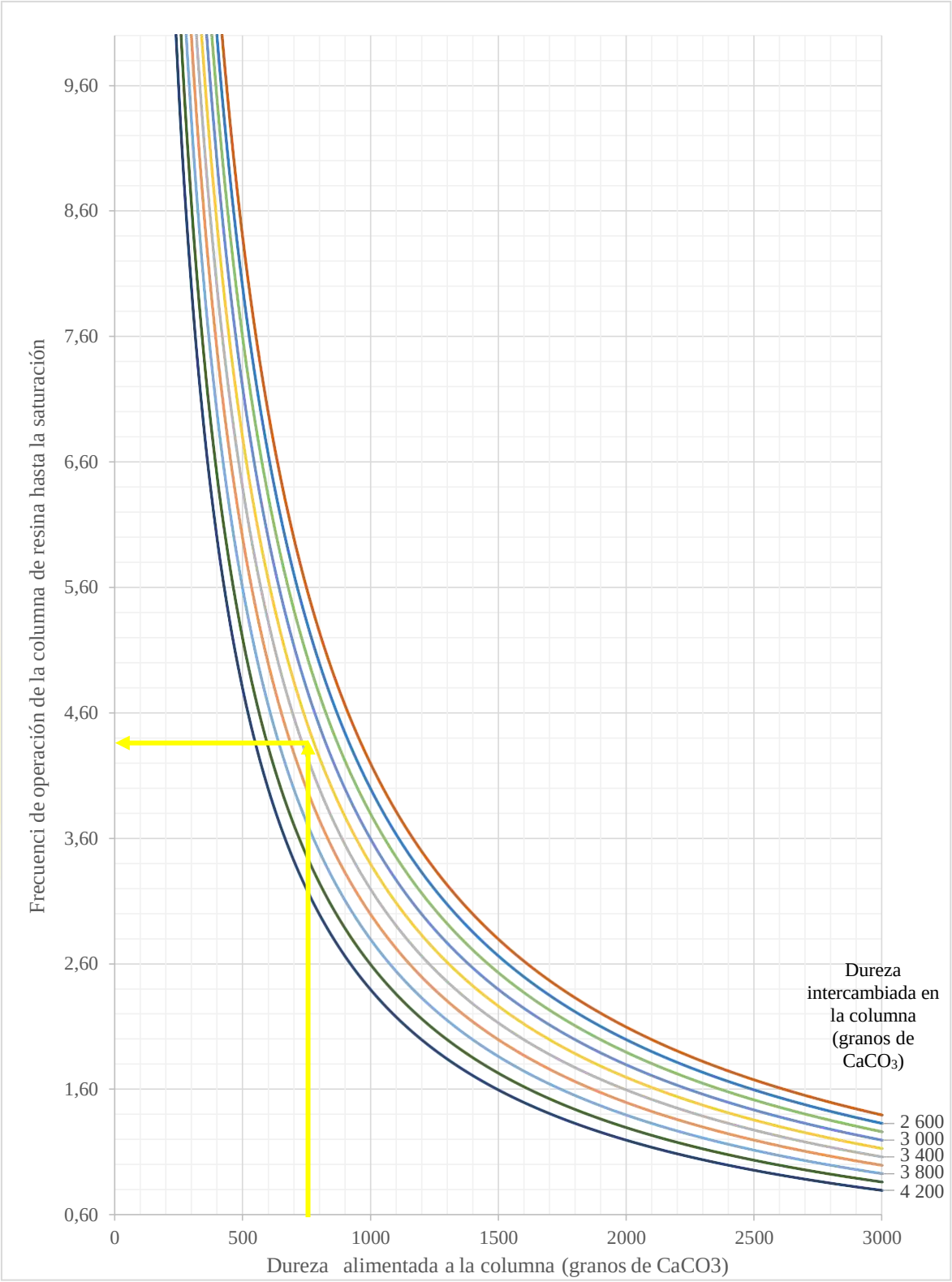


Figura 15. Frecuencia de operación de la columna de resina hasta la saturación.

Nota. Elaboración propia.

Para una mejor comprensión, se da el consolidado de cálculos para la columna de intercambio iónico ciclo sodio:

Volumen diario de agua tratada	100 litros
	26,420 galones
Dureza del agua de alimentación	500 ppm de $CaCO_3$
	29,206 granos de $CaCO_3$ / galón
Capacidad de intercambio de la resina	30 000 granos de $CaCO_3$ / pie^3 resina
Eficiencia de intercambio operativo	80 %

Capacidad de intercambio de diseño

(30 000 granos de $CaCO_3$ / pie^3 resina) (0,80)

24 000 granos de $CaCO_3$ / pie^3 resina

Altura de resina en la columna	0,46 m.
Diámetro interior de la columna	0,105 m.

Volumen de resina en la columna.

$(3,1416\ (0,105\ m)^2/4)\ (0,46\ m)$

$0,003983\ m^3 = 0,141\ pie^3 = 3,983$ litros

Dureza intercambiada por la resina.

(24 000 granos de $CaCO_3$ / pie^3 resina)(0,141 pie^3)

3 375,9 granos de $CaCO_3$

Dureza contenida en el agua tratada.

(26,420 galones)(29,206 granos de $CaCO_3$ / galón)

771,61 granos de $CaCO_3$

Numero de servicios antes de su regeneración:

3 375,9 granos de $CaCO_3$ / 771,61 granos de $CaCO_3$

4,38 servicios

Resultando que, para V = 100 litros de agua potable alimentada (APA), con una dureza de 500 ppm de $CaCO_3$, con una altura de resina (HR) de 0,46 m, en el módulo de diámetro interior (DI) 0,105m, volumen de resina (VR) de 3,983 litros, capacidad de intercambio de resina (CIR) de 24 000 granos/pie^3. Bajo estas condiciones, el equipo operará 4,38 veces el volumen considerado (100 litros) antes de llegar a la saturación, produciendo por tanto 438 litros hasta la necesidad de regenerar la resina ciclo sodio.

Dependiendo de su consumo familiar, podrá ver en cuanto tiempo deberá regenerar el equipo ablandador o fijar el caudal y tiempo de funcionamiento para ajustar el volumen por servicio.

Dimensionamiento de la columna de intercambio iónico ciclo sodio. En base a los cálculos anteriores, se presenta el diseño de la unidad en las Figura 16 y 17. Se indica en la Tabla 12 el consolidado de los accesorios y materiales utilizados para el montaje de la columna de intercambio iónico.

Tabla 12

Requerimiento de accesorios y materiales para la columna de intercambio ciclo sodio

N°	Descripción	Cantidad
1	Tubería de PVC 4 Pulg.	0,60 m
2	Tapa de PVC 4 Pulg.	02 und.
3	Unión mixta de PVC de ½ pulg.	02 und.
4	Tuvo de PVC de ½ pulg.	0,04 m
5	Tapón de PVC de ½ pulg.	02 und.
6	Adaptador de PVC de ½ pulg.	02 und.
7	O-ring de ½ pulg.	02 und.
8	Grava de 1/32 Pulg.	0,866 l = 0,031 pie^3
9	Resina ciclo sodio	3,983 l = 0,141 pie^3

Nota. Elaboración propia.

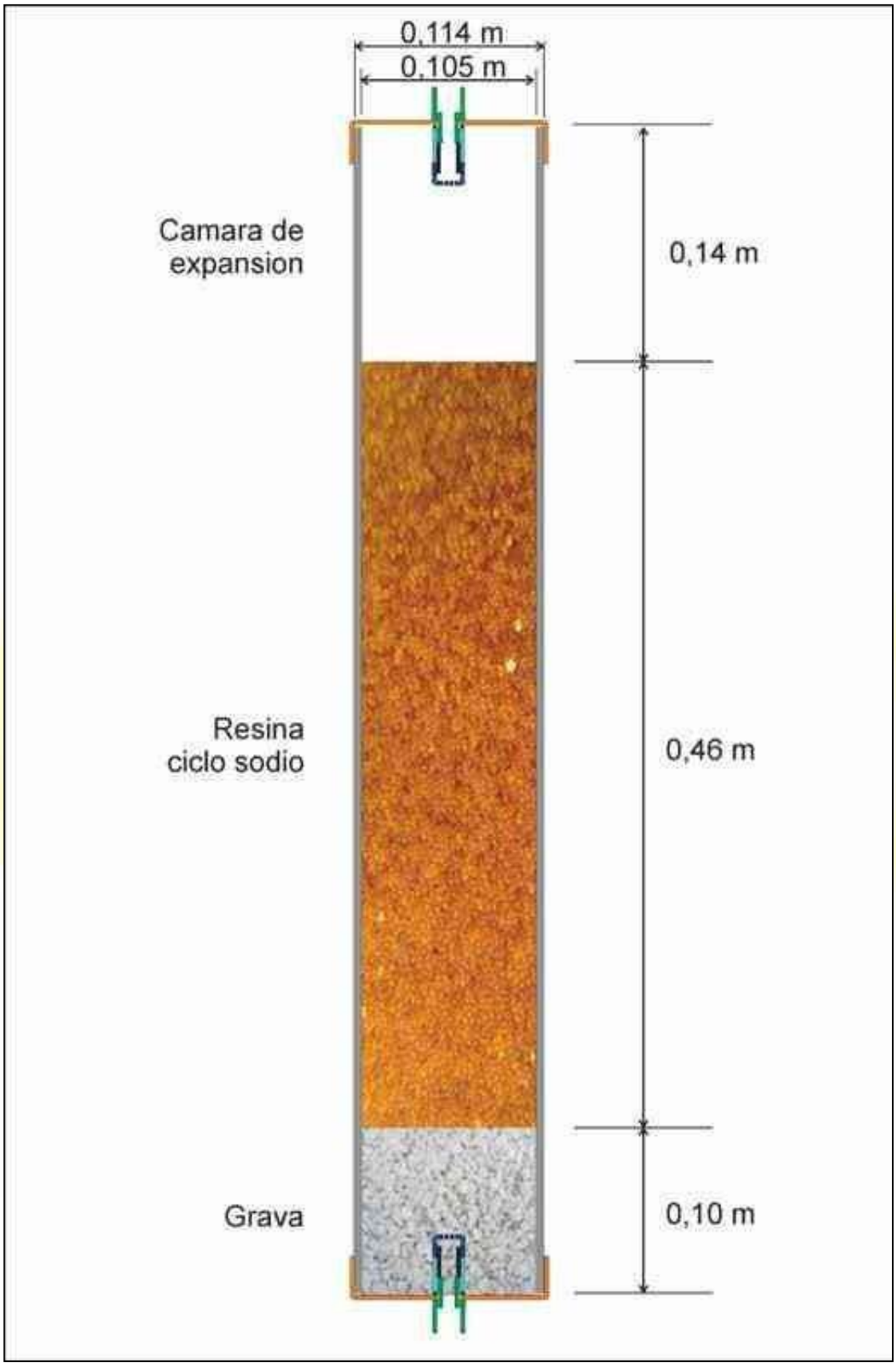


Figura 16. Dimensionamiento de la columna de intercambio iónico ciclo sodio.

Nota. Elaboración propia.

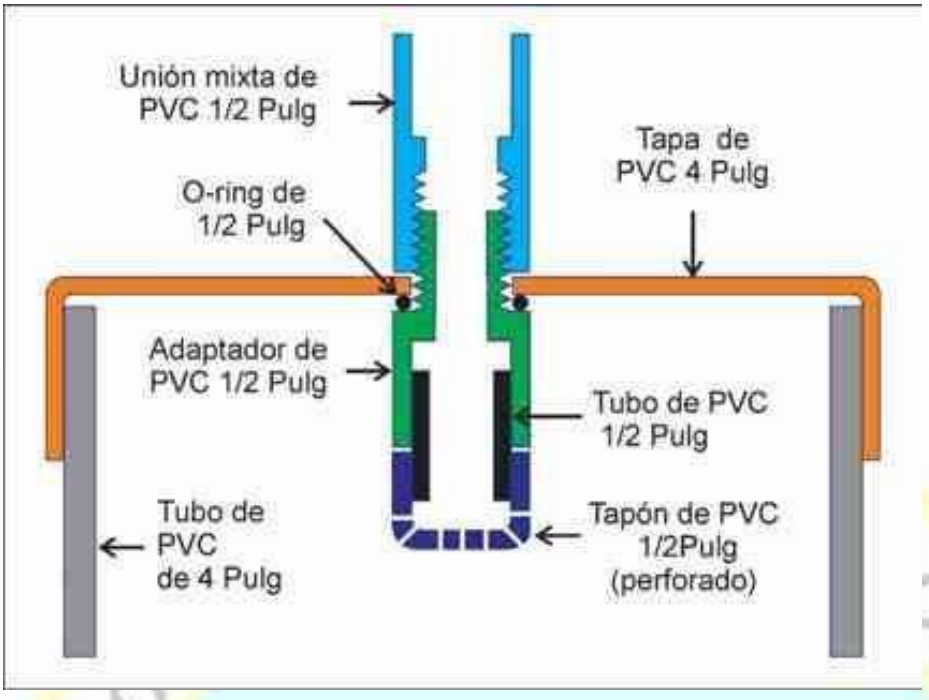


Figura 17. Detalle del montaje de tapas en la columna de intercambio iónico ciclo sodio.

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se determina parámetros de la columna de intercambio ciclo sodio como el área de sección de la columna (As) y el flux de operación.

Diámetro interior	DI	=	0,105 m
Caudal	Q	=	140 l/min

Área de sección de la columna (As).

$$As = \frac{\pi . (DI)^2}{4}$$

$$As = 0{,}0087\ m^2$$

Flux de operación en la columna (F).

$$F = \frac{Q}{As}$$

$$F = 270\ l/m^2/s$$

Cálculo del volumen del depósito para la salmuera

Requerimiento de regenerante (Rsal).

Dosificación de salmuera Dsal = 7 kg de salmuera / pie^3 de resina.

Volumen de resina VR = 0,141 pie^3

Rsal = VR . Dsal

Rsal = 0,987 kg de NaCl

Volumen teórico para depósito de salmuera (Vtsal):

Concentración de salmuera Csal = 10 a 12 % peso/volumen.

Se considera Csal = 10 %

$$\text{Vtsal} = \frac{\text{Rsal}}{\text{Csal}}$$

Vtsal = 9,87 litros

Volumen requerido para depósito de salmuera (Vrsal):

Se considera un factor de servicio = 50 %

Vrsal = 9,87 litros (1,5)

Vrsal ~ 15 litros

Adquirir un depósito de 15 litros de capacidad

Preparación de la salmuera

Para mejorar la calidad de la solución regenerante se preparará en un 20 % en exceso para dejar anticipadamente en reposo para el asentamiento de sólidos que pudiera contener la salmuera y/o el agua de preparación. Por tanto, se debe preparar:

Pesar la salmuera (NaCl) 0,987 kg (1,2) = 1,18 kg sal común (NaCl)

Llenar en el depósito hasta 9,87 litros (1,2) = 11, 8 litros de salmuera

c) Unidades de tratamiento microbiológico

- Diseño de la unidad de tratamiento microbiológico.

Capacidad del módulo

Se determina el volumen de la columna UV, de acuerdo a las dimensiones de la columna y altura de la lámpara adquirida:

Longitud de la columna Luv = 0,45 m

Diámetro interior DI = 0,105 m

El volumen de agua dentro de la columna UV (Vuv) se calcula:

$$Vuv = \frac{\pi . (DI)^2}{4} . Luv$$

Vuv = 3,897 litros

Se indica en la Tabla 13 variantes del volumen a otros tamaños de la columna.

Tabla 13

Volumen de la columna UV en función a la longitud del módulo

Longitud columna UV	Diámetro interior columna	Volumen en la columna UV		
m	m	m^3	l	pie^3
0,10	0,105	0,000866	0,866	0,031
0,20	0,105	0,001732	1,732	0,061
0,25	0,105	0,002165	2,165	0,076
0,30	0,105	0,002598	2,598	0,092
0,35	0,105	0,003031	3,031	0,107
0,40	0,105	0,003464	3,464	0,122
0,45	0,105	0,003897	3,897	0,138
0,50	0,105	0,004330	4,330	0,153
0,55	0,105	0,004762	4,762	0,168
0,60	0,105	0,005195	5,195	0,183

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se calcula el tiempo de retención en la columna ultravioleta para la verificación del cumplimiento del tiempo requerido para la remoción de contaminantes microbiológicos.

Caudal de alimentación : Q = 140 ml/min

Volumen de agua en la columna UV : Vuv = 3,897 litros

El tiempo de retención (TRuv) en la columna UV se calcula de la siguiente manera.

$$TRuv = \frac{Vuv}{Q}$$

TRuv = 28 min.

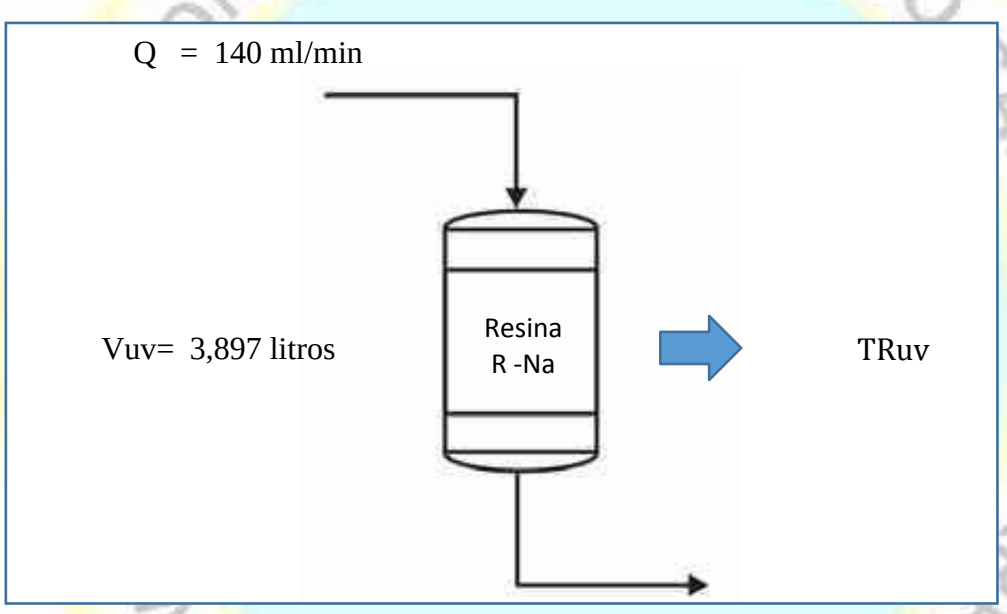


Figura 18. Representación de cálculo de tiempo de retención en la columna UV.

Nota. Elaboración propia.

El tiempo de retención de 28 minutos es tiempo suficiente para la remoción completa de los microrganismos potenciales en el agua potable. Para situaciones de cambios de requerimiento en las familias, se elabora la Tabla 14, y su respectiva Figura 19 para un cálculo rápido.

Tabla 14

Tiempo de retención en la columna UV por su volumen y caudal de alimentación

Volumen de agua (l)	Caudal de agua alimentada (l/min)									
	0,1	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,50	5,0	4,2	3,6	2,8	2,1	1,7	1,3	0,8	0,6	0,5
1,00	10,0	8,3	7,1	5,6	4,2	3,3	2,5	1,7	1,3	1,0
1,50	15,0	12,5	10,7	8,3	6,3	5,0	3,8	2,5	1,9	1,5
2,00	20,0	16,7	14,3	11,1	8,3	6,7	5,0	3,3	2,5	2,0
2,50	25,0	20,8	17,9	13,9	10,4	8,3	6,3	4,2	3,1	2,5
3,00	30,0	25,0	21,4	16,7	12,5	10,0	7,5	5,0	3,8	3,0
3,50	35,0	29,2	25,0	19,4	14,6	11,7	8,8	5,8	4,4	3,5
4,00	40,0	33,3	28,6	22,2	16,7	13,3	10,0	6,7	5,0	4,0
4,50	45,0	37,5	32,1	25,0	18,8	15,0	11,3	7,5	5,6	4,5
5,00	50,0	41,7	35,7	27,8	20,8	16,7	12,5	8,3	6,3	5,0
5,50	55,0	45,8	39,3	30,6	22,9	18,3	13,8	9,2	6,9	5,5
6,00	60,0	50,0	42,9	33,3	25,0	20,0	15,0	10,0	7,5	6,0

Nota. Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN • HUACHO •

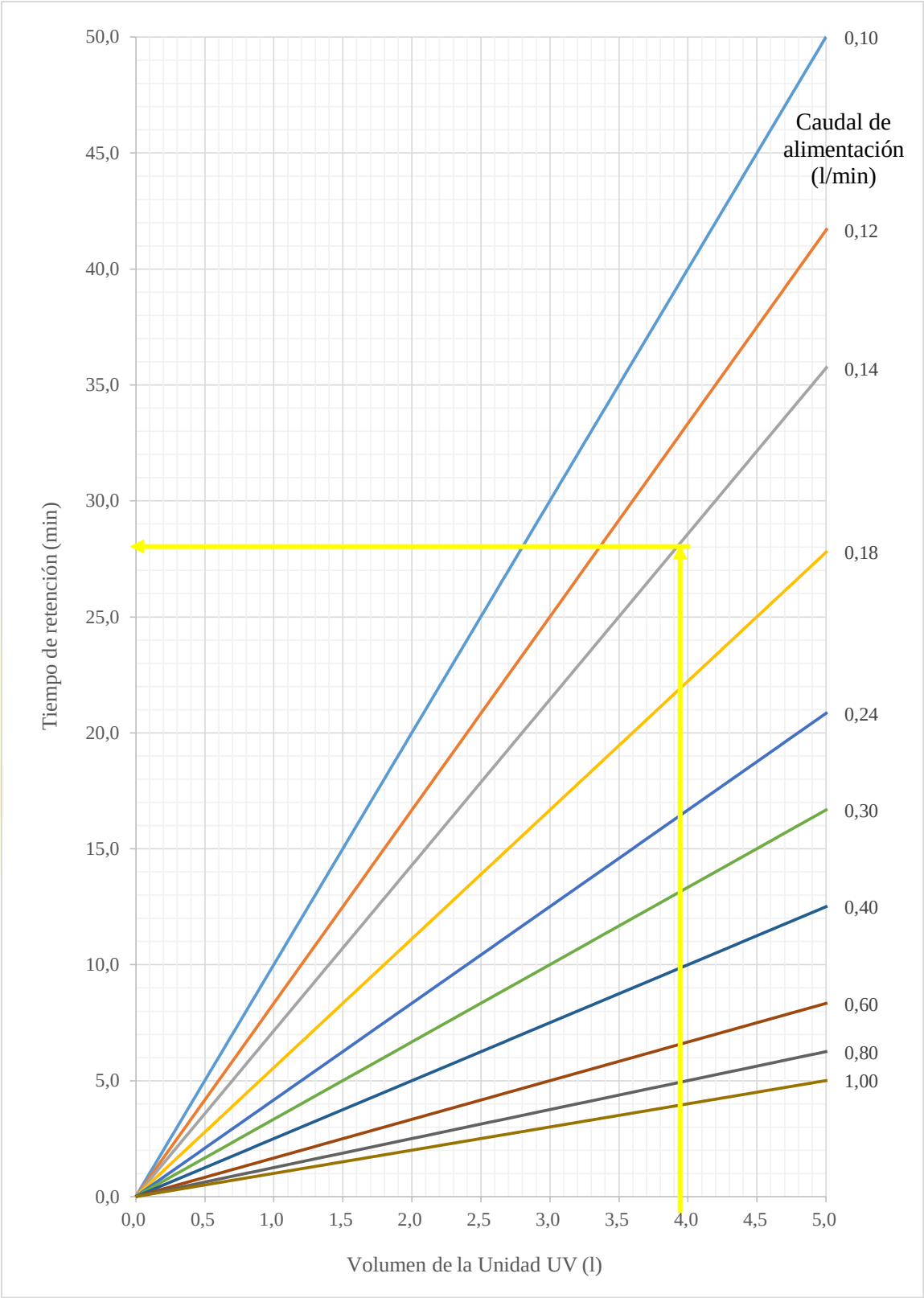


*Figura 19.*Tiempo de retención en la columna UV por volumen y caudal de alimentación.

Nota. Elaboración propia.

Diseño del módulo UV

El diseño esta condiciona al tamaño de la lámpara UV y disponibilidad de los materiales de PVC para agua potables disponibles en el mercado.

Dimensionamiento de la columna ultravioleta. En base a los cálculos anteriores, se presenta el diseño de la unidad en las Figura 20 y 21. Se indica en la Tabla 15 el consolidado de los accesorios y materiales utilizados para la construcción del módulo de UV.

Tabla 15

Requerimiento de accesorios y materiales para la columna UV

N°	Descripción	Cantidad
1	Tubería de PVC 4 Pulg.	0,45 m
2	Tapa de PVC 4 Pulg.	02 und.
3	Unión mixta de PVC de ½ pulg.	02 und.
4	Unión mixta de PVC de ¾ pulg.	02 und.
5	Adaptador de PVC de ½ pulg.	02 und.
6	Adaptador de PVC de ¾ pulg.	02 und.
7	O-ring de ½ pulg.	02 und.
8	O-ring de ¾ pulg.	02 und.
9	Grava de 1/32 Pulg.	0,866 l = 0,031 pie^3
10	Lámpara UV 15 W	01 und.
11	Fluorescente hueco	01 und
12	Silicona	100 g
13	Cables dos colores n° 16	6 m

Nota. Elaboración propia.

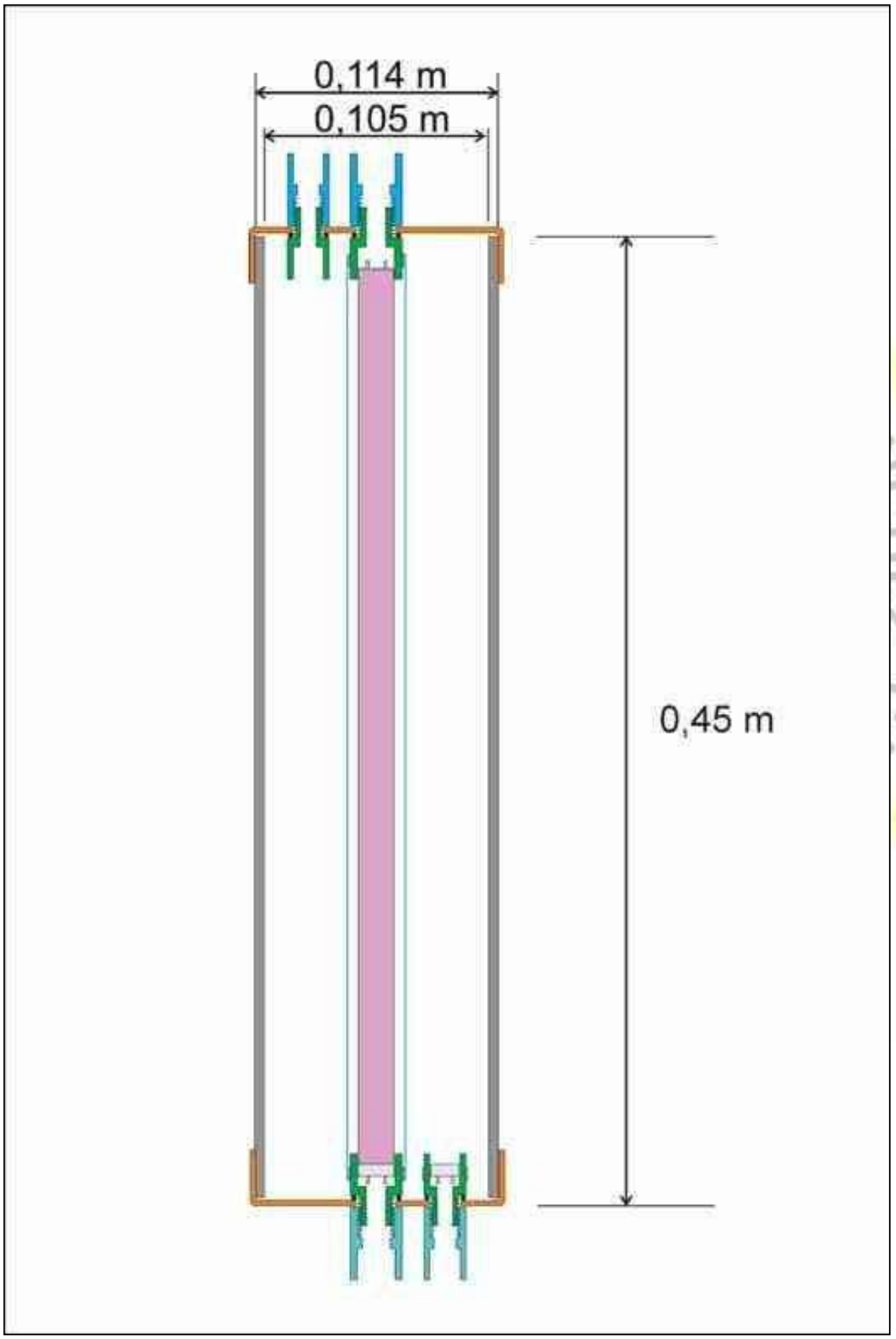


Figura 20. Diseño de la unidad de tratamiento microbiológico con UV.

Nota. Elaboración propia.

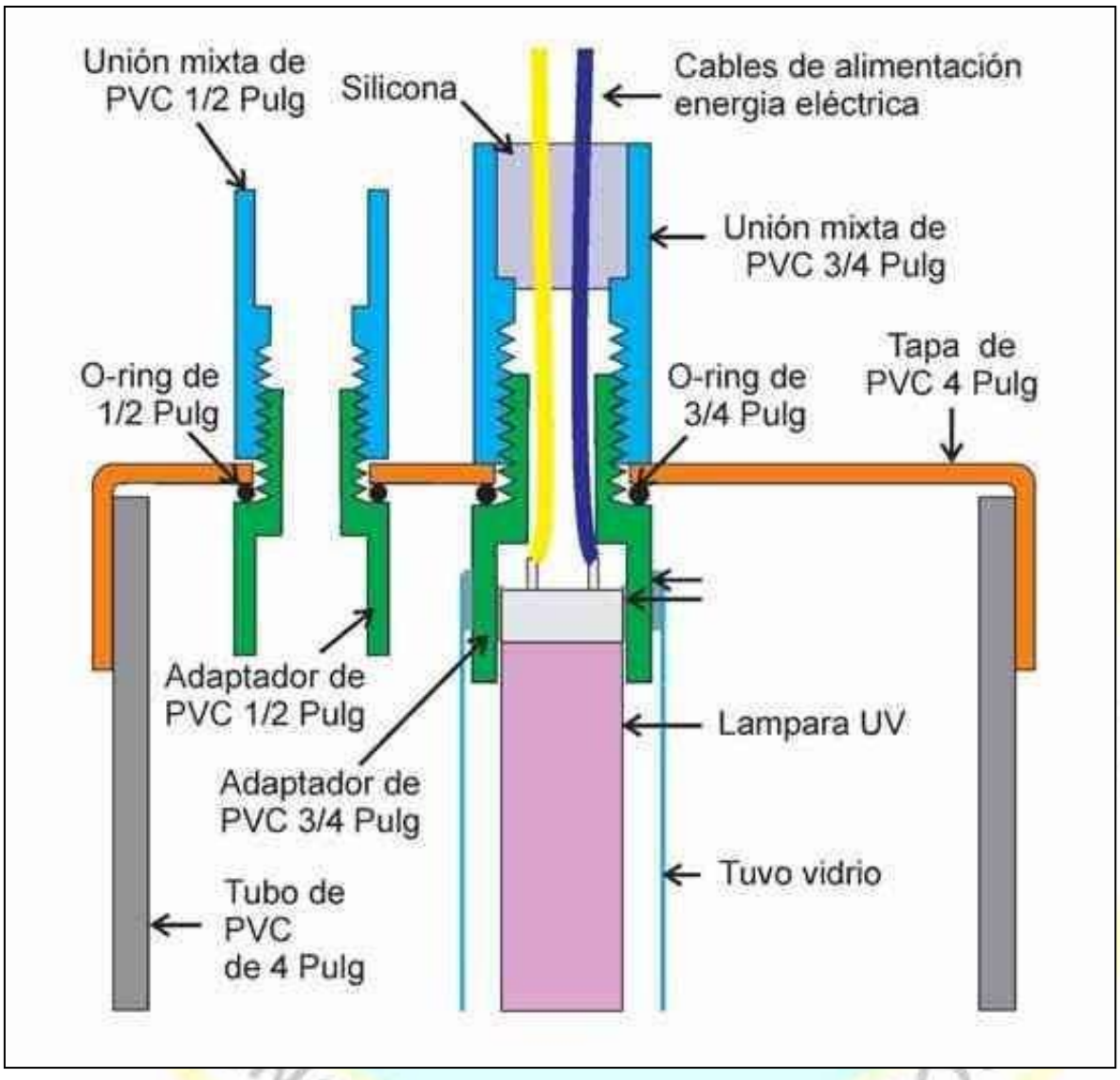


Figura 21. Detalle del montaje de tapas de la unidad de tratamiento UV.

Nota. Elaboración propia

Figura 22. Datos técnicos de la lámpara de UV.

Nota. Elaboración propia.

d) Diseño del sistema modular

Configuración del sistema modular. Por razones técnicas, se dispuso las unidades de tratamiento diseñadas anteriormente en el siguiente orden en el sistema modular:

1. *Filtración*. Retendrá los sólidos en suspensión potenciales que contenga el agua alimentada al sistema, evitando que se ensucien las demás unidades.

2. *Adsorción con carbón activado*. En esta unidad se retendrá las impurezas potenciales en trazas de metales pesados y cloro residual, tóxicos para el ser humano, También retendrá compuestos que producen olor y color mejorando el valor organoléptico del producto.

3. *Intercambio con resina ciclo sodio*. Retendrá los cationes de calcio y magnesio en aguas de dureza muy elevada. Para una dureza deseada final, se diseña el equipo también para que opere sin esta unidad (bypass) para una posterior mezcla con el agua ablandada.

4. *Desinfección con UV*. La unidad asegurará el abastecimiento de agua potable exenta de contaminantes microbiológicos.

Unidades auxiliares. Adicionalmente a los módulos diseñados, se requiere las siguientes unidades auxiliares para dar operatividad en las viviendas. Entre ellas tenemos:

- Depósito de salmuera 15 l.
- Depósito de agua tratada 120 l.
- Caja suministro energía eléctrica.

En la Figura 23, se indica la configuración del sistema modular con la secuencia de módulos planteada.

En la Figura 24, se indica el diseño de las unidades con los accesorios y unidades auxiliares a instalar en las viviendas.

Tabla 16

Requerimiento de accesorios y materiales del sistema modular

N°	Descripción	Cantidad
1	Filtro modular	01 und.
2	Resina ciclo sodio	3,983 l = 0,141 pie^3
3	Carbón activado	3,983 l = 0,141 pie^3
4	Grava de 1/32 Pulg.	1,732 l = 0,062 pie^3
5	Lámpara UV 15 W	01 und.
6	Fluorescente	01 und
7	Tubería de PVC 4 Pulg.	1,65 m
8	Tubería de PVC 1/2 Pulg.	16 m
9	Tapa de PVC 4 Pulg.	06 und.
10	Tapa de PVC 1/2 Pulg.	04 und.
11	Válvula de bola de PVC ½ pulg.	14 und.
12	Válvula de globo de PVC ½ pulg.	03 und.
13	Unión universal de PVC ½ pulg.	08 und.
14	Unión mixta de PVC de ½ pulg.	06 und.
15	Unión mixta de PVC de ¾ pulg.	02 und.
16	Adaptador de PVC de ½ pulg.	06 und.
17	Adaptador de PVC de ¾ pulg.	02 und.
18	Codos de PVC 90° ½ pulg.	17 und.
19	Te de PVC ½ pulg.	12 und.
20	O-ring de ½ pulg.	06 und.
21	O-ring de ¾ pulg.	02 und.
22	Silicona	100 g
23	Cables dos colores N° 16	6 m
24	Manguera transparente ½ pulg.	3 m
25	Cinta teflón	04 und
26	Terraja de ½ pulg.	01 und.
27	Cemento transparente ´para PVC	1/8 galón
28	Cinta aislante	01 und.
29	Depósito de salmuera 15 l	01 und.
30	Depósito de agua tratada 120 l	01 und.
31	Caja suministro energía eléctrica	01 und.

Nota. Elaboración propia.

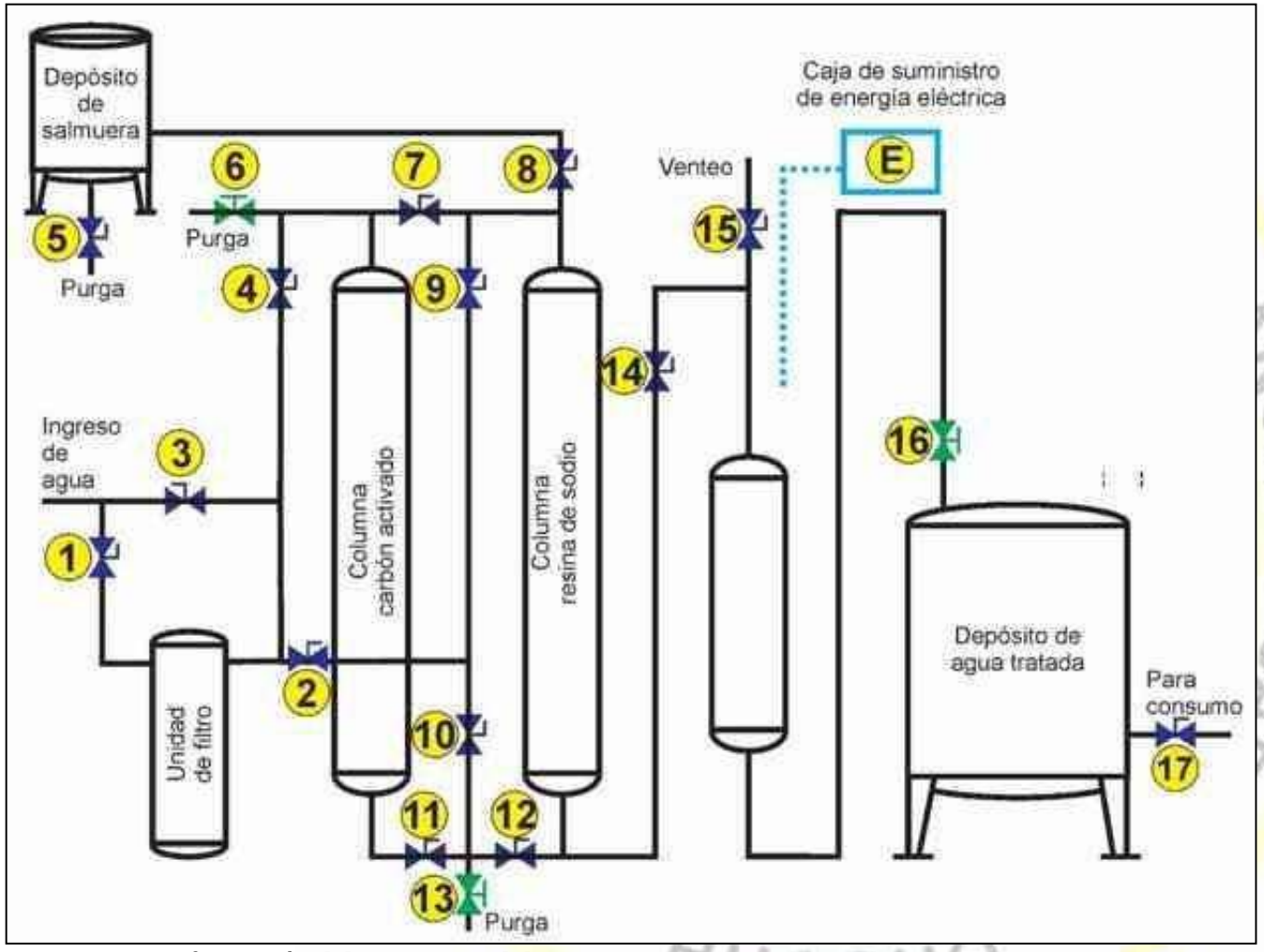


Figura 23. Configuración del sistema modular y requerimientos adicionales.

Nota. Elaboración propia.

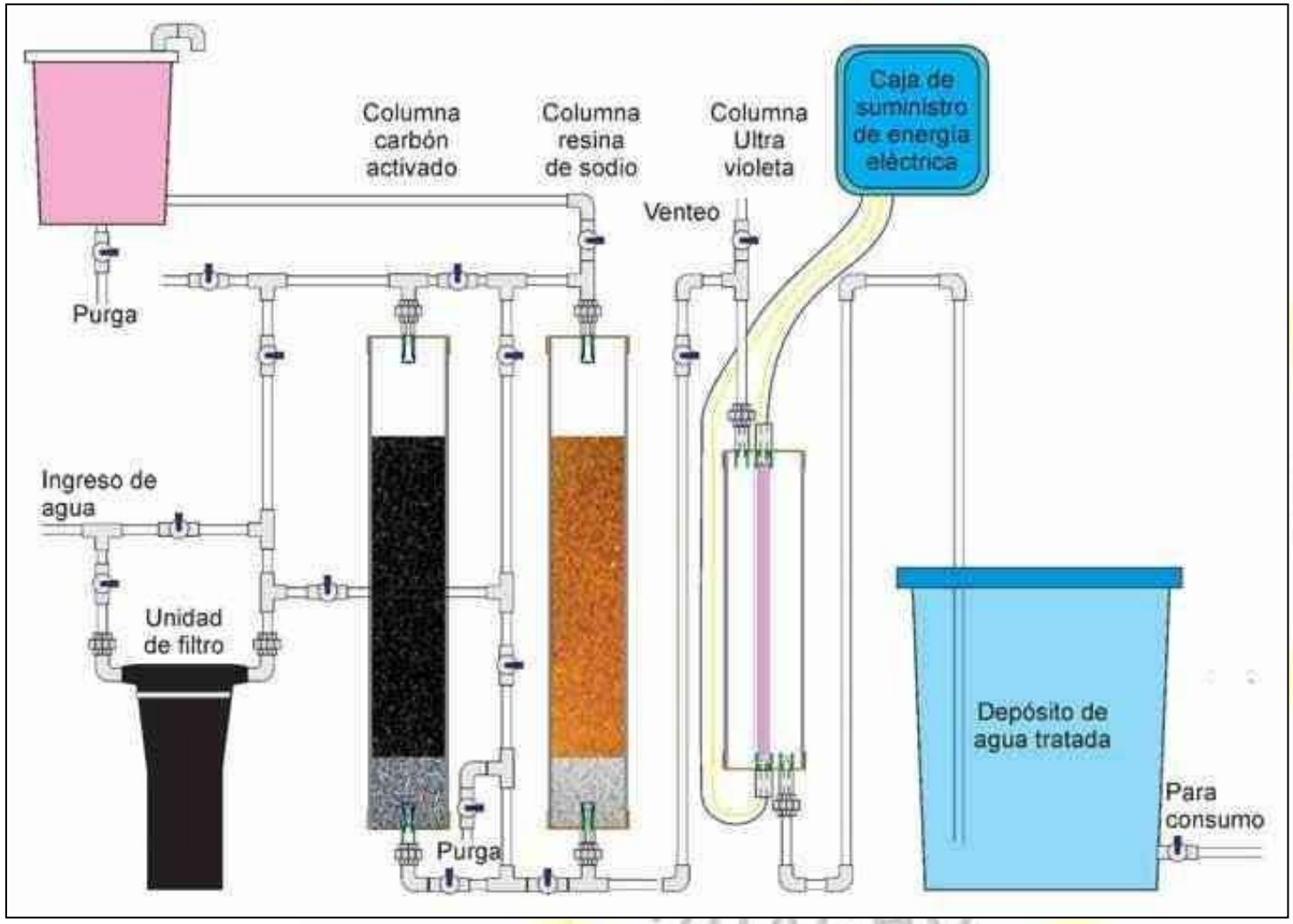


Figura 24. Configuración del sistema modular y detalle de accesorio y materiales utilizados.

Nota. Elaboración propia.

4.1.2 Construcción del sistema modular para uso en viviendas

4.1.2.1 Construcción del sistema modular

Figura 25. Módulos armados para el sistema modular de tratamiento de agua potable (filtro, para carbón para resina, columna UV).

Nota. Elaboración propia.

Figura 26. Armado del sistema modular.

Nota. Elaboración propia.

Figura 27. Pre armado del sistema modular para traslado al lugar de instalación

Nota. Elaboración propia.

4.1.2.2 Operación del sistema modular

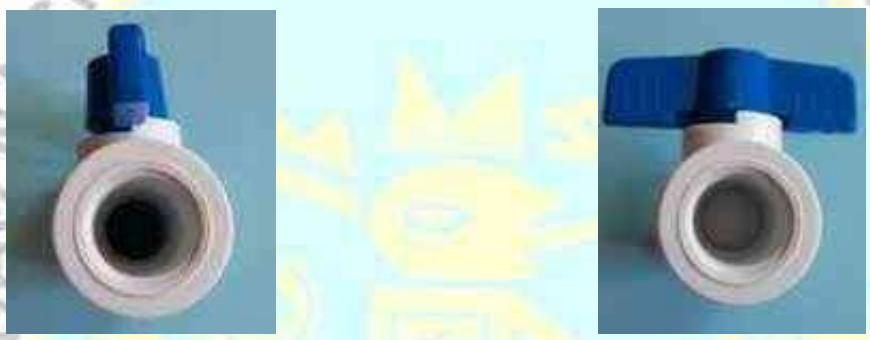
Se detalla a continuación los procedimientos de operación de servicio y mantenimiento del sistema modular.

a) Conocimiento previo del sistema modular

Preparación del sistema modular

Familiarizarse con la función, apertura y cerrado de las válvulas:

Válvula de bola: Conocido también como válvula de cierre rápido. Estas trabajan siempre en posición completamente abierta o completamente cerrada. No se usan para regular flujo.



Válvula de bola abierta Válvula de bola cerrada

Figura 28. Válvula de bola en posición abierta y cerrada.

Nota. Elaboración propia

Válvula de globo: Este tipo de válvulas están diseñadas para provocar un desgaste uniforme en los asientos, por lo que se utilizan para regular flujo.

Válvula de globo para cerrar Válvula de globo para abrir

Figura 29. Válvula de bola en posición abierta y cerrada para regulación de flujo.

Nota. Elaboración propia.

b) Preparación del sistema modular

Inundar el sistema modular con agua potable, para ello se realizará el siguiente procedimiento. Proceder a llenar a bajo caudal, el llenado del filtro culmina cuando se observa salida de agua por la válvula 6 o 15.

Se sugiere cerrar todas las válvulas inicialmente para evitar errores de operación.

- Llenado de la columna de filtro:

Válvulas cerradas : 2, 3, 7.

Válvulas abiertas : 1, 4, 6.

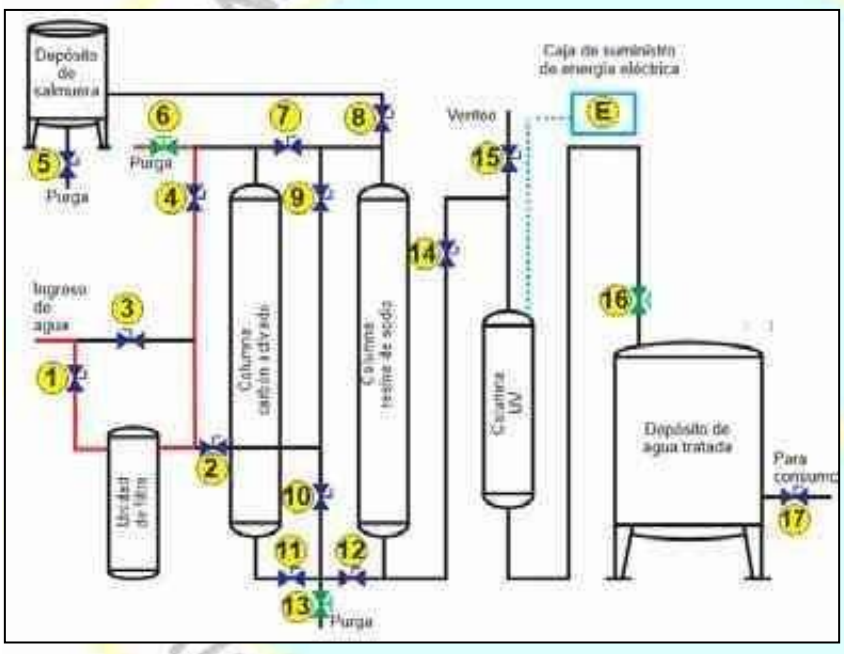


Figura 30. Preparación del filtro.

Nota. Elaboración propia.

- Llenado de la columna de adsorción con carbón activado:

Válvulas cerradas : 1, 4, 9, 12, 13, 7.

Válvulas abiertas : 3, 2, 10, 11, 6.

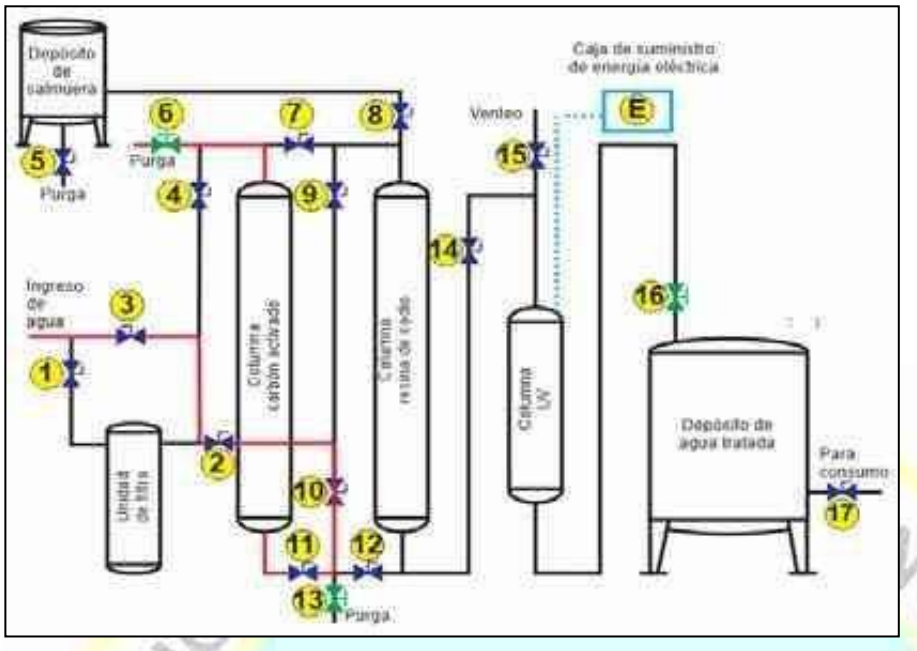


Figura 31 Preparación de la columna de carbón.

Nota. Elaboración propia.

- Llenado de la columna de intercambiador ciclo sodio:

Válvulas cerradas : 1, 4, 9, 11, 13, 14, 8.

Válvulas abiertas : 3, 2, 10, 12, 7, 6.

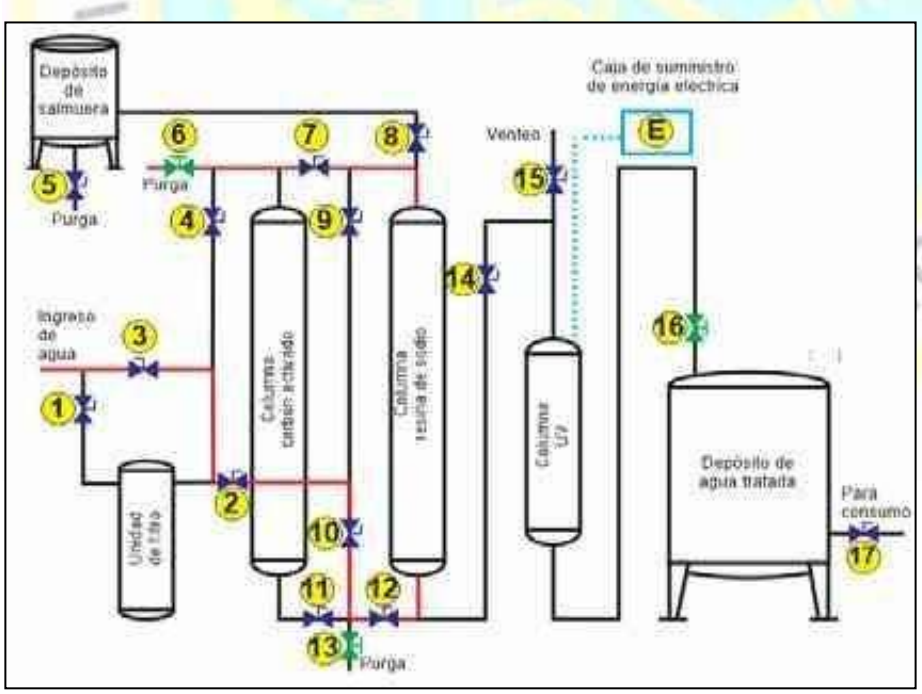


Figura 32. Preparación de la columna de intercambio ciclo sodio.

Nota. Elaboración propia.

- Llenado de la columna Ultravioleta:

Válvulas cerradas : 1, 4, 9, 11, 13, 8.

Válvulas abiertas : 3, 2, 10, 12, 12, 14, 15, 16.

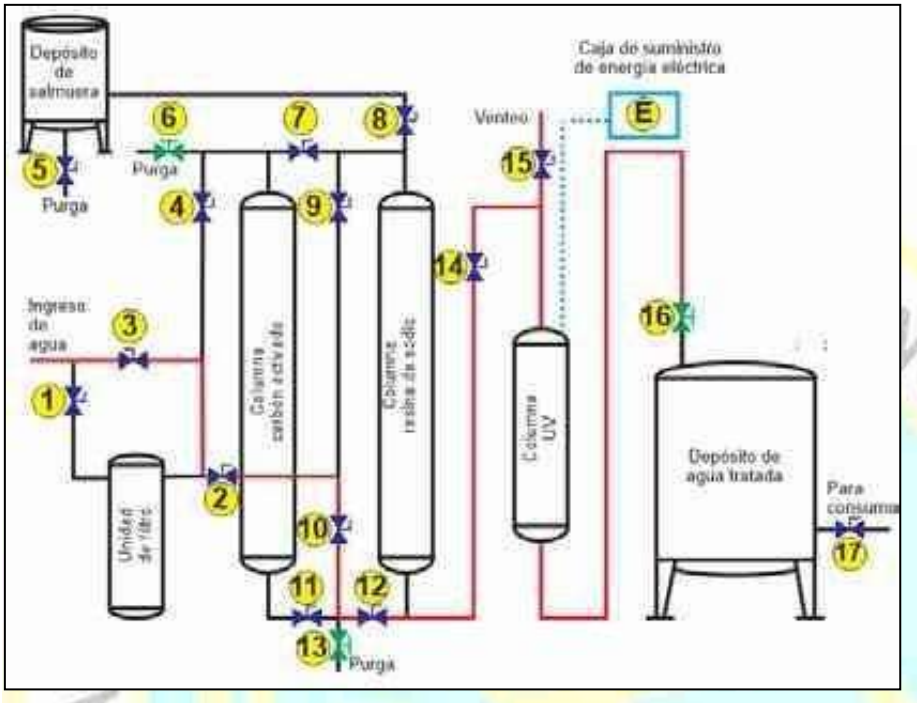


Figura 33. Preparación de la columna UV.

Nota. Elaboración propia.

De igual manera, proceder a llenar a bajo caudal, el llenado culmina cuando se observa salida de agua por la válvula 15 de venteo de aire. Para esto, se debe instalar una manguera transparente desde esta válvula hasta el sumidero.

Culminado el llenado de todos los módulos, se aconseja cerrar todas las válvulas.

c) Producción de agua potable tarda en el sistema modular

Asegúrese de empezar con todas las válvulas cerradas. Regular el caudal de salida a producir mediante la válvula de globo N° 16, de acuerdo a los parámetros considerados en el diseño y las condiciones operativas.

- Servicio del sistema modular con ablandamiento.

Válvulas cerradas : 3, 2, 6, 7, 12, 13, 8, 15.

Válvulas abiertas : 1, 4, 11, 10, 9, 14, 16, conexión E.

Servicio del sistema modular con ablandamiento.

Válvulas cerradas : 3, 2, 6, 7, 10, 13, 8, 15.

Válvulas abiertas : 1, 4, 11, 12, 14, 16, conexión E.

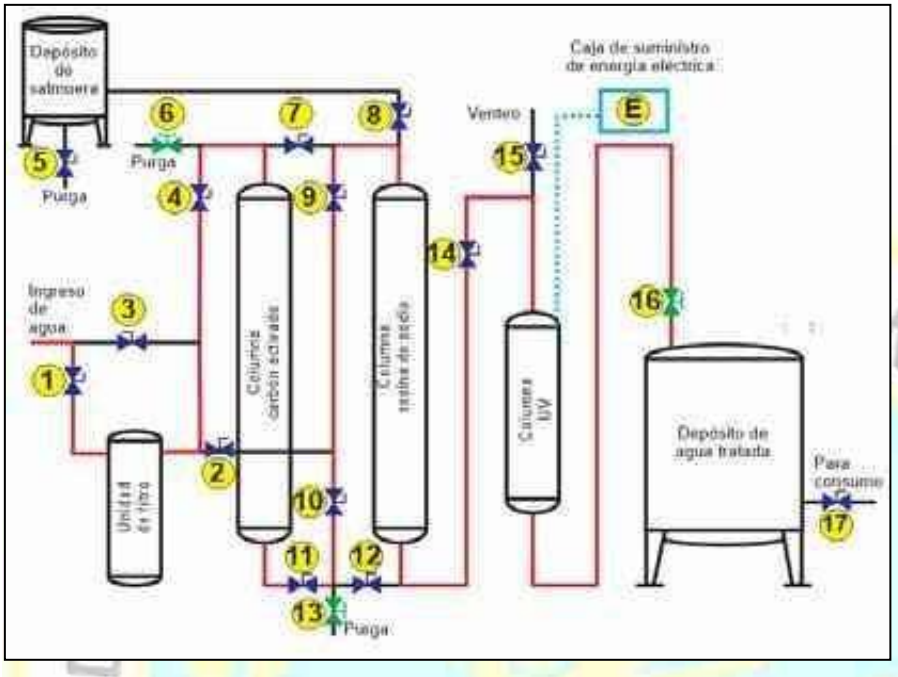


Figura 34. Servicio del sistema modular con ablandamiento.

Nota. Elaboración propia.

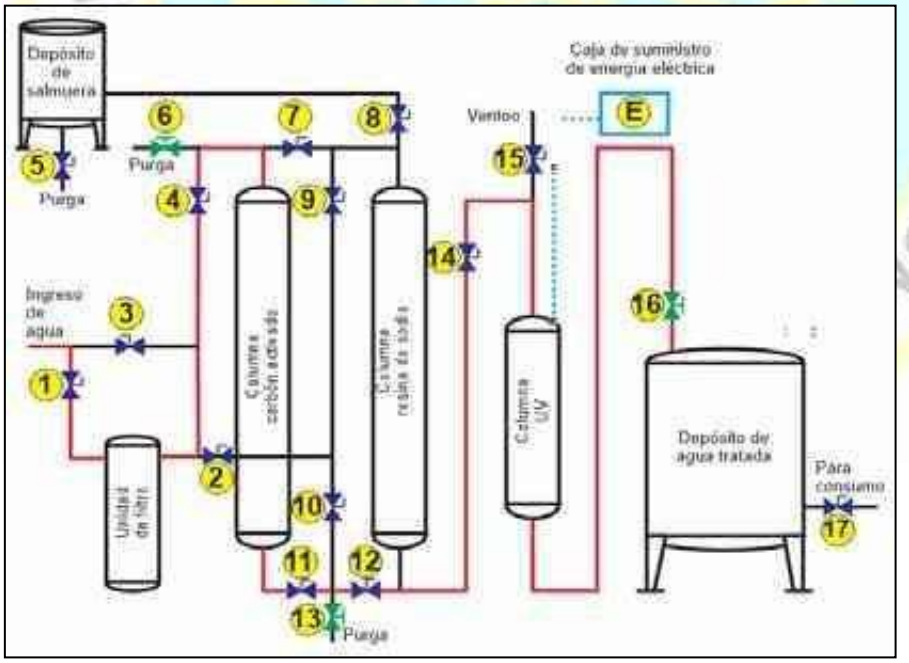


Figura 35. Servicio del sistema modular sin ablandamiento.

Nota. Elaboración propia.

d) Mantenimiento de la columna de adsorción con carbón activado

El módulo tiene instaladas en la parte superior e inferior para su desmontaje para cambio de carbón activado o desinfección exhaustiva.

En servicio de la unidad, periódicamente el carbón activado en la columna, deberá retro lavarse y luego enjuagarse, regular el caudal a la salida con la válvula 6 o 13.

- Retro lavado de la columna con carbón activado.

Válvulas cerradas : 1, 4, 9, 12, 13, 7.

Válvulas abiertas : 3, 2, 10, 11, 6.

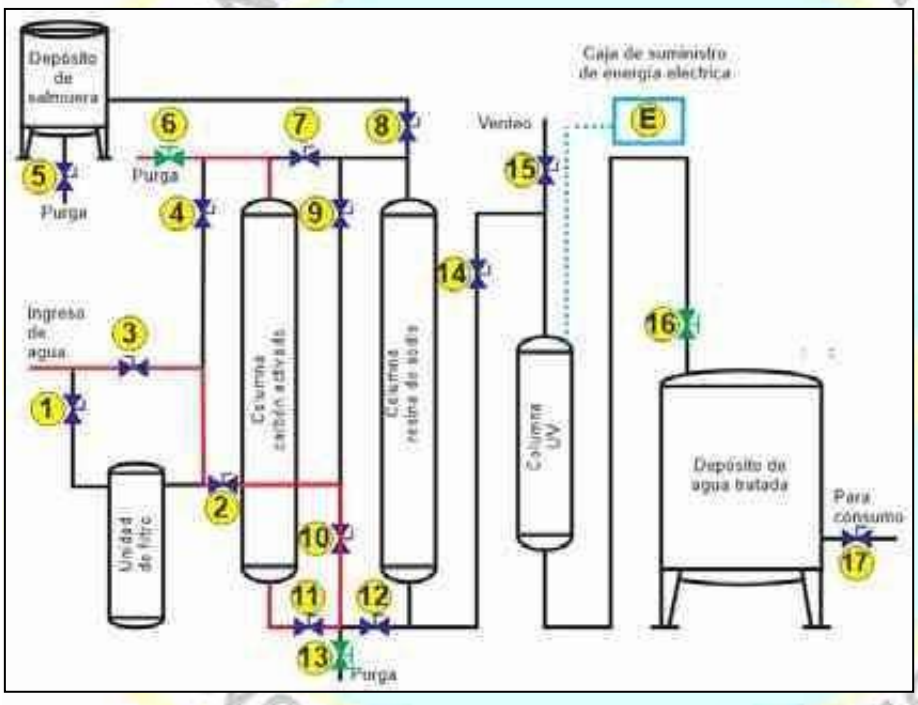


Figura 36. Retrolavado de la columna de adsorción con carbón activado.

Nota. Elaboración propia.

- Limpieza de la columna de adsorción con carbón activado

Válvulas cerradas : 1, 2, 6, 7, 10, 12.

Válvulas abiertas : 3, 4, 11, 13.

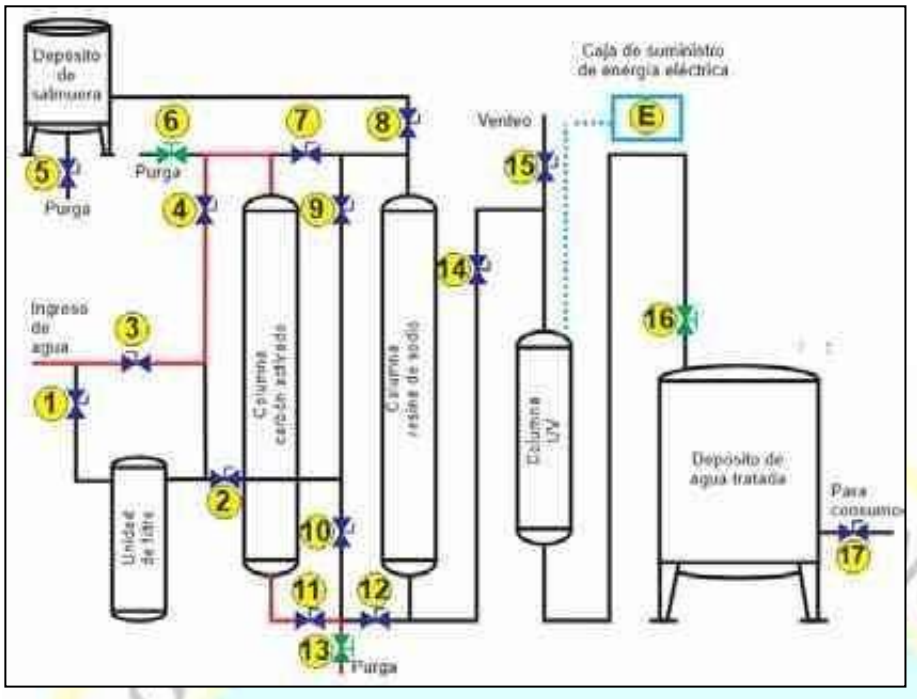


Figura 37. Lavado de la columna de adsorción con carbón activado.

Nota. Elaboración propia.

e) Mantenimiento de la columna de intercambiador de ciclo de sodio

El módulo tiene instaladas para su desmontaje uniones universales para cambio de resinas o limpieza más minuciosa.

En el servicio, periódicamente deberá retro lavarse, regenerar y luego enjuagarse la resina ciclo sodio en la columna. Para ello:

- Retro lavado de la columna de intercambiador de ciclo sodio

Válvulas cerradas : 1, 4, 9, 11, 13, 14, 8.

Válvulas abiertas : 3, 2, 10, 12, 7, 6.

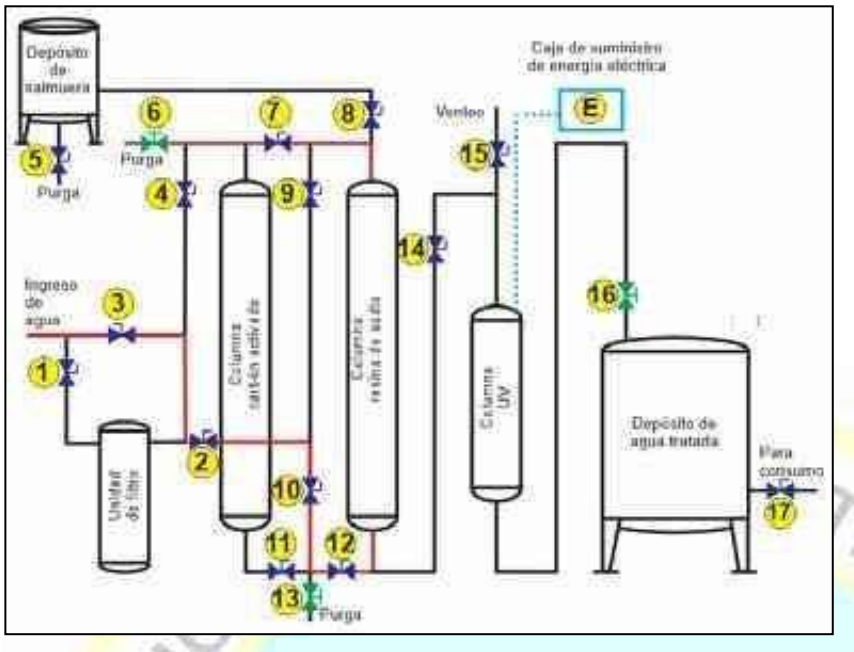


Figura 38. Retrolavado de la columna de intercambio ciclo sodio

Nota. Elaboración propia.

- Regeneración de las resinas en la columna de intercambiador de ciclo sodio

Válvulas cerradas : 7, 9, 14., 10, 11.

Válvulas abiertas : 8, 12, 13.

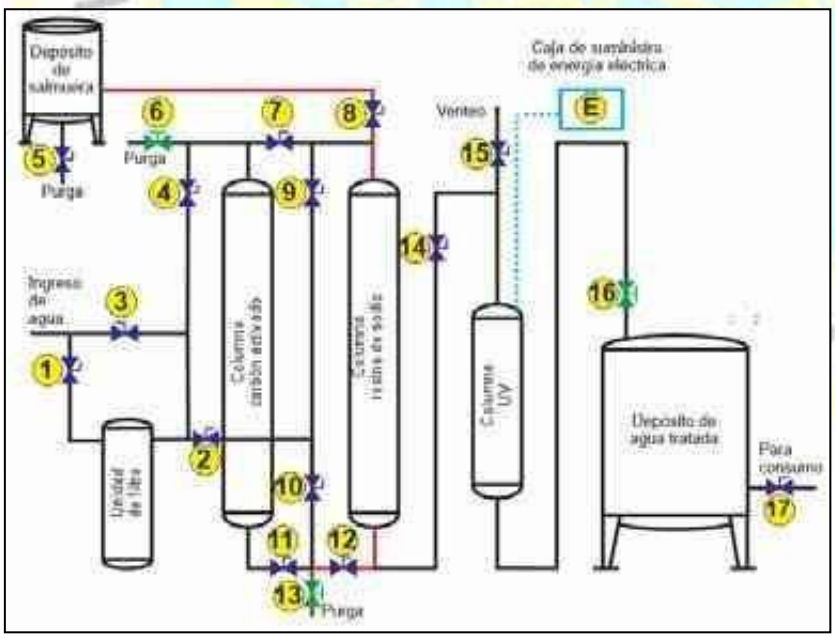


Figura 39. Regeneración de la columna de intercambio ciclo sodio

Nota. Elaboración propia.

- Lavado de la columna de intercambiador de ciclo sodio

Válvulas cerradas : 1, 2, 6, 11, 9, 8, 14, 10.

Válvulas abiertas : 3, 4, 7, 12, 13.

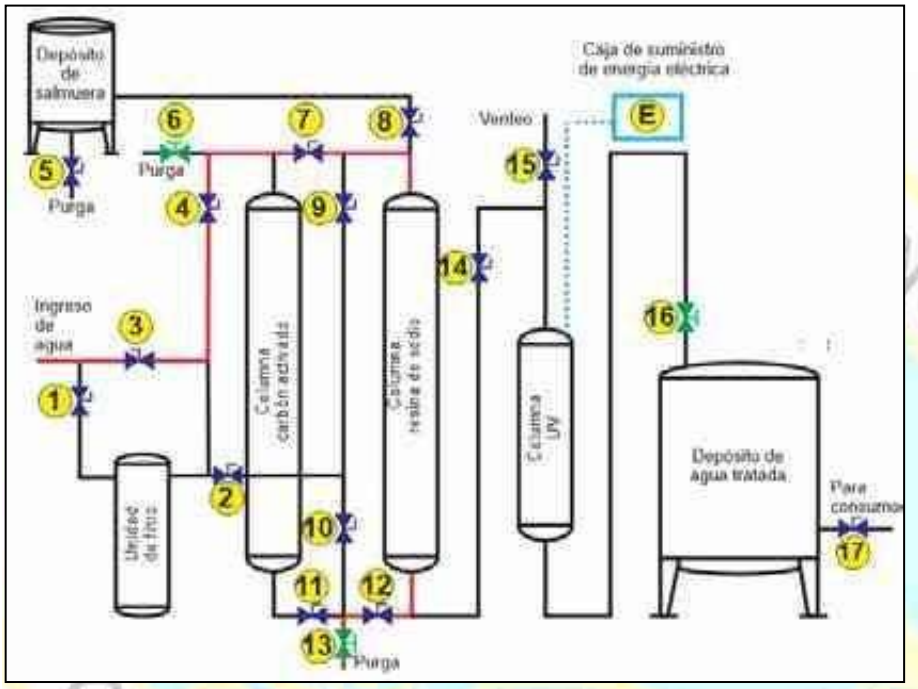


Figura 40. Lavado de la columna de intercambio ciclo sodio

Nota. Elaboración propia.

f) Mantenimiento de la columna de UV

De manera preventiva se instalará de un indicador piloto y llave térmica para detectar el estado inoperativo de la lámpara UV. De ocurrir el caso, proceder a desmontar por las uniones universales.

g) Mantenimiento de la unidad de filtro

De acuerdo a la saturación de sólidos dada por el fabricante del filtro, se deberá sustituir el cartucho mediante el manual de mantenimiento del equipo.

El resumen de apertura y cierre de válvulas del equipo se indica en la Tabla 17.

4.2 Contrastación de hipótesis

Por la investigación descriptiva, no aplica.

Tabla 17

Resumen de apertura y cierre de válvulas para el uso del sistema modular

Actividad	Detalle		Válvulas abiertas	Válvulas cerradas
Preparación	Unidad de filtro		1, 4, 6	2, 3, 7
	Columna con carbón activado		3, 2, 10, 11, 6	1, 4, 9, 12, 13, 7
	Columna ciclo sodio		3, 2, 10, 12, 7, 6	1, 4, 9, 11, 13, 14, 8,
	Columna UV		3, 2, 10, 12, 12, 14, 15, 16	1, 4, 9, 11, 13, 8
Servicio	Servicio con ablandamiento		1, 4, 11, 10, 9, 14, 16, E	3, 2, 6, 7, 12, 13, 8, 15
	Servicio sin ablandamiento		1, 4, 11, 12, 14, 16, E	3, 2, 6, 7, 10, 13, 8, 15
Mantenimiento y/o limpieza	Limpieza de la columna de carbón	Retrolavado	3, 2, 10, 11, 6	1, 4, 9, 12, 13, 7
		Enjuague	3, 4, 11, 13	1, 2, 6, 7, 10, 12
	Regeneración de la resina en la columna	Retrolavado	3, 2, 10, 12, 7, 6	1, 4, 9, 11, 13, 14, 8,
		Regeneración	8, 12, 13	7, 9, 14., 10, 11
		lavado	3, 4, 7, 12, 13	1, 2, 6, 11, 9, 8, 14, 10

Nota. Elaboración propia.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

Con respecto a la investigación realizada por Jorge-Sánchez et al. (2018), quienes utilizaron cinco módulos de tratamiento (magnético, suavizado, carbón activado, lámpara UV y ozono, microfiltros y ósmosis inversa); obteniendo la reducción de parámetros para una calidad superior del agua que se purificada de destino al consumo humano. Por tanto, con el uso del sistema modular se reducirán y/o eliminarán impurezas físicas, químicas y microbiológicas, por tanto, se puede afirmar que el sistema modular asegurará y mejorará los principales criterios de calidad para el agua potable.

Con referencia a la investigación realizada por López (2016), quien construyó un sistema de desinfección con ultravioleta con acero inoxidable y en su evaluación encontró que para coliformes totales de 1 500 a 15 000 NMP/ml, bastó un tiempo de retención de 4,94 a 22 segundos para la remoción del 99,99 %. Por otra parte, en el sistema modular se consideró un módulo para desinfección con UV para eliminar la carga microbiana potencial desde las unidades anteriores, con un tiempo de retención superior de 28 min. En consecuencia, se puede afirmar que el sistema modular con UV asegurará la calidad del agua ya potabilizada.

En relación a la investigación realizada por Reyna (2014), quien aplicó el intercambio iónico para la purificación del agua y mostró sus bondades de aplicación futura en la remoción de iones metálicos; en la regeneración de la resina se evidencia el problema de eficiencia, recuperación y vida útil. Del mismo modo, en el sistema modular se incluyó

una columna de intercambio ciclo sodio para reducir la dureza del agua, de no ser necesaria se dispone de una opción de bypass en el equipo. En consecuencia, se puede afirmar que la columna de intercambio ciclo sodio asegurará la calidad química en dureza del agua.

Refiriendo a la investigación realizada por Samayoa (2013), quien construyó unidades del sistema de purificación de forma modular con unidades de filtro de arena sílica, filtro con cartucho de 10 micrones, filtro con cartucho de 5 micrones y carbón activado, desinfección con luz ultravioleta y ozono e inyección de gases; al ser modular manifiesta la flexibilidad para su uso familiar. De igual manera, el sistema modular asegura su uso a diferentes configuraciones de acuerdo a la necesidad del usuario. Por lo tanto, se puede afirmar que el sistema modular es versátil.

En cuanto a la investigación realizada por Noboa (2008), quien obtuvo una remoción de cloro de hasta 98 %, disminuyendo la regeneración del carbón, recomienda carbón activado de menor tamaño, su cantidad en función del nivel de cloración, retrolavado diario de la unidad e instalar previamente un filtro de arena. De la misma manera, se consideró en el diseño del sistema modular la instalación de un filtro prefabricado y mecanismos para retrolavar el carbón activado en la columna. Por consiguiente, se afirma que se tomaron en el diseño del sistema modular todas las medidas para asegurar el correcto funcionamiento de la columna.

En cuanto a la investigación realizada por Rossel et al. (2020), quien realizó cuatro pruebas a diferentes tiempos de radiación ultravioleta-C, encontrando cuatro segundos como mínimo para la remoción total. Bajo esta perspectiva, el tiempo de retención de 28 min en el equipo UV asegurará la remoción de la carga microbiológica, en consecuencia, se puede afirmar que en el sistema modular consideró el tiempo de irradiación con UV, en concordancia al estudio de referencia

Acerca de la investigación realizada por Rossi (2017), quien utilizó cuatro medios filtrantes, uno de ellos con carbón activado, encontrando reducción en la turbidez próximos al 99,99 % y una remoción de manganeso, plomo, cadmio, arsénico, boro variable, mejorando de esta manera parcialmente la calidad de agua, no recomendando su uso en la procesadora de alimentos. No obstante, la alimentación de agua potable al sistema modular permite eliminar los bajos niveles de sólidos en suspensión y trazas potenciales de metales pesados que pudieran contener. Por lo tanto, se afirma que el sistema modular asegurará la calidad del agua.

Refiriendo a la investigación realizada por Valles et al. (2013), quien instaló un sistema de filtros grava arena y carbón con acero inoxidable, logrando reducir la turbiedad a niveles aceptables para consumo humano. De igual manera, la construcción del sistema modular se realizó con un material inerte, materiales de PVC y asimismo, por la baja cantidad de sólidos en suspensión, la instalación del filtro sólo asegura su calidad. Por lo tanto, se afirma que el sistema modular asegura la calidad.

En cuanto a la investigación realizada por Chávez et al. (2010), quien diseño un equipo modular de intercambiador iónico con la resina catiónica ciclo sodio, con materiales de PVC considerando para el volumen interno del módulo, volumen y altura de resina y caudal de alimentación. Del mismo modo, el sistema modular se diseñó y construyó con materiales de PVC, utilizándose también resinas de ciclo sodio. Por consiguiente, se afirma que el sistema modular con el material construido no contamina el agua ya potabilizada.

Referente a la investigación realizada por Nunja (2007), quien encontró que la dureza de ocho pozos de la ciudad de Huacho excede los parámetros dispuestos por los organismo nacionales e internacionales, y que con el ablandamiento de la fuente de agua y su mezcla con agua bruta se puede lograr un valor máximo de 300 pm de $CaCO_3$. Considerando aquello, en el diseño del sistema modular también se ha configurado para que el usuario

pueda reducir la dureza final a través del pase de agua no ablandada. Por lo tanto, se afirma que el sistema modular construido permitirá reducir a niveles aceptables y prefijados la dureza del agua.

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El sistema modular permitirá operar a diferentes niveles de consumo familiar en los domicilios, lo que garantiza su versatilidad en su operación en viviendas con diferentes necesidades.
- El diseño secuencial del sistema modular, iniciando por la filtración permitirá el cuidado y mayor vida de las unidades de carbón y resina de sodio, donde estas unidades retendrán el cloro y potenciales contaminantes como olor, color y metales pesados principalmente y la columna de UV garantizar la inocuidad del agua procesada.
- Para la construcción del sistema modular, se diseñó para una facilidad de montaje y desmontaje, para su traslado, sustitución, limpieza de rellenos y sustitución de la lámpara UV.
- El procedimiento para la operación del equipo el sistema modular, garantizará una operación adecuada cuidando la seguridad del personal operador.

6.2 Recomendaciones

- Almacenar adecuadamente la fuente de agua al sistema modular para evitar sobrecargar el sistema modular, especialmente la unidad de filtro que retendrá los sólidos en suspensión lo que podría acortar su tiempo de vida.

- Por ningún motivo en las pruebas de arranque y/o sustitución de la lámpara UV se deberá prender la lámpara irradiando al personal cercano, debido a que la luz UV es perjudicial para la salud humana.
- Utilizar cloruro de sodio (sal común) de alta pureza, que permitirá no ensuciar a las perlas de resina ciclo sodio, el cual reduciría su capacidad de intercambio.
- Para aumentar el tiempo de vida del carbón activado, se sugiere eliminar el cloro residual del agua potable almacenada antes de alimentar al sistema modular.
- Se sugiere para una mejor limpieza de las resinas ciclo sodio, desmontar a través de las uniones universales el módulo, retirarlo y extraer la resina por la tapa superior, que será colocada con silicona para su desmontaje.

.

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

CAPITULO VII

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

Chávez, L., Linares, G. G., & Reátegui, C. (2010). *Diseño, construcción e instalación de un equipo del tipo modular de intercambiador iónico, para el laboratorio de procesos y operaciones unitarias de la FIQ-UNAP*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos. Recuperado el 09 de marzo de 2018, de https://bit.ly/2SjsABv

Echevarría-Quintana, M. (2015). *Metodología de diseño conceptual modular para la de selección de variables modulares.* (Tesis doctoral), Universitat Politécnica de Catalunya, Barcelona. Recuperado el 18 de abril de 2020, de https://bit.ly/3vL8VZF

Jorge-Sanchez, R., Daquinta-Gradaille, L. A., García-Álvarez, N., & Fernández-Sánchez, M. (2018). Diseño y construcción de un sistema modular de purificación de agua para Ciego de Ávila. *Revista Ingenieria Agrícola*, *8*(3), 53-59. Recuperado el 18 de diciembre de 2019, de https://bit.ly/3xLiuJQ

López, A. R. (2016). *Implementación de un sistema de desinfección de agua mediante luz ultravioleta alimentado por energía solar mediante paneles fotovoltaicos en la hostería San Andrés, en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago.* (Tesis de grado), Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado el 12 de marzo de 2019, de https://bit.ly/3ub36Eg

Noboa, E. (2008). *Diseño de un filtro de carbón activado para la remoción de cloro libre residual del agua potable para uso en la industria farmacéutica.* (Tesis de grado),

Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 15 de abril de 2018, de https://bit.ly/3gPqjIh

Nunja, J. (2007). *Intercambio iónico ciclo sodio y blending para mejorar la calidad química del agua potable en el distrito de Huacho.* (Tesis de maestría), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho. Recuperado el 12 de marzo de 2019, de https://bit.ly/3e3c8gN

Reyna, B. (2014). *El Intercambio Iónico, su descripción y comportamiento químico.* (Tesis de grado), Instituto politécnico Nacional, México D.F. Recuperado el 03 de enero de 2018, de https://bit.ly/3u5PwSL

Rossel, L. J., Rossel, L. A., Ferro, F. P., Ferro, A. L., & Zapana, R. R. (2020). Radiación ultravioleta-C para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas, 22*(1), 68-77. http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.537

Rossi, G. M. (2017). *Diseño de un purificador de agua para uso en la pequeña industria alimentaria de zonas rurales.* (Tesis de grado), Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de https://bit.ly/3vwQ30g

Samayoa, L. P. (2013). *Diseño y Construcción de equipo para Purificación de agua a bajo costo.* (Tesis de grado), Universidad San Carlos de Guatemala. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de https://bit.ly/2PGunQ4

Valles, D. S., Mori, J. A., & Ojeda, S. J. (2013). *Diseño, construcción e instalación de un sistema de filtros para pozos artesianos y su uso en el distrito Villa Trompeteros-Río Corrientes-Loreto.* (Tesis de grado), Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos. Recuperado el 04 de abril de 2018, de https://bit.ly/3nBs1yk

7.2 Fuentes bibliográficas

Camacho, A., & Ariosa, L. (2000). *Diccionario de términos ambientales.* La Habana, Cuba.

Carrasco Díaz, S. (2017). *Metodología de la Investigación Científica: pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación* (2ª ed., 13ª reimpr.). Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.

Córdova, I. (2017). *El proyecto de investigación cuantitativa* (1ª ed. 4ª reimpr.). Lima: San Marcos E.I.R.L.

Geissler, G., & Arroyo, M. (2011). *EL agua: como recurso natural renovable* (1ª ed.). México: Trillas.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México: McGraw-Hill Interamericana editores S.A.

Rohm and Haas Company. (s.f.). *Sistemas de intercambio iónico: solución a problemas y recomendaciones de mantenimiento.*

Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño* (3ª ed. 3ª reimpr.). Colombia: Escuela colombiana de ingeniería.

Sierra, C. A. (2011). *Calidad de agua: Evaluación y diagnóstico* (1ª ed.). (L. D. López, Ed.) Medellín, Colombia: Ediciones de la U.

Vergara, F. (1984). *Tratamientos de aguas industriales.* Lima: Kavi editores S.A.

7.3 Fuentes hemerográficas

Dirección General de Salud Ambiental. (2011). DS N° 031-2010-SA. *Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano.* (1ª ed.) Lima. Recuperado el 02 de abril de 2020, de https://bit.ly/333weRP

7.4 Fuentes electrónicas

Agencia de Protección Ambiental. (2012). *Guía del ciudadano sobre el tratamiento con carbón activado*. Estados Unidos. Recuperado el 02 de abril de 2020, de https://bit.ly/2QKTIZB

Aguas Lima Norte. (2018). *Producción de agua potable 2018*. Recuperado el 17 de agosto de 2019, de https://bit.ly/3eGfDsW

BIOESTADISTICO. (12 de febrero de 2012a). 01. Tipos de investigación | Metodología de la investigación científica [Video]. Recuperado el 23 de agosto de 2019, de https://bit.ly/3360g7v

BIOESTADISTICO. (16 de marzo de 2012b). 19. Técnicas de recolección de datos | Metodología de la investigación científica [Video]. Obtenido de https://bit.ly/333FxkN

De Dardel, F. (2019a). *El intercambio iónico, principios básicos. Ablandamiento del agua*. Recuperado el 03 de abril de 2020, de https://bit.ly/3xCUoAR

De Dardel, F. (2019b). *El intercambio iónico, principios básicos. Regeneración*. Recuperado el 02 de abril de 2020, de https://bit.ly/2Rcmgev

DOMUNI. (2013). *Filosofía de la naturaleza.* Recuperado el 18 de abril de 2020, de https://bit.ly/2QLUghE

Organización Mundial de la Salud. (s.f). *Calidad de agua potable*. Recuperado el 10 de agosto de 2019, de https://bit.ly/3e7aY4f

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4ª ed.). Recuperado el 3 de marzo de 2020, de https://bit.ly/3e38Xpn

Rotoplas filtros. (2017). Instructivo filtro estándar. Recuperado el 02 de marzo de 2020, de https://bit.ly/3vtMRT5

ANEXOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

Anexo 1: Matriz de consistencia

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE PARA USO EN VIVIENDAS, 2018

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				MÉTODOS Y TÉCNICAS
				DIMENSIÓN	SUB DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	
PROBLEMA GENERAL • ¿Cuál es el diseño para la construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?	**OBJETIVO GENERAL** • Realizar el diseño y construcción de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.	**HIPÓTESIS GENERAL** • El diseño posibilita la construcción del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.	Variable de caracterización		• Consumo familiar semanal de agua potable	• Número de habitantes por vivienda • Consumo per cápita alimentos y bebida • Ciclo de producción de la unidad • Factor de seguridad	Razón Razón Razón Razón	**TIPO DE INVESTIGACIÓN** Transversal. Prospectivo. Descriptivo. **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN** No experimental descriptivo simple **POBLACIÓN Y MUESTRA** . ***Población.*** Sistema modular de tratamiento de agua potable de uso en viviendas en el año 2018. .***Muestra.*** Sistema modular de tratamiento de agua potable de uso en viviendas en el año 2018. **TÉCNICAS** Documental Observación **INSTRUMENTOS** Ficha documental. Ficha de observación. Cinta metica.
ROBLEMAS PECÍFICOS • ¿Qué parámetros deben considerarse para el diseño del sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas? • ¿Cómo será el diseño de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas? • ¿Cómo se realizará en base al diseño planteado, la construcción de un sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas? • ¿Cómo debe operarse el sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas?	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS** • Determinar los parámetros de diseño del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas. • Realizar el diseño de un sistema modular de aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas. • Realizar la construcción en base al diseño planteado del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas. • Realizar el procedimiento de operación del sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.	**HIPÓTESIS ESPECIFICAS** • Se identifica el consumo familiar semanal de agua potable, el caudal e impurezas potenciales del agua potable disponibles en las viviendas. • El diseño del sistema modular comprende módulo de tratamiento físico (filtro), tratamiento químico (columna de adsorción con carbón activado y columna de intercambio iónico ciclo sodio) y tratamiento microbiológico (columna de lámpara UV). • La construcción del sistema modular, se realiza secuencialmente en base al diseño planteado, de acuerdo a sus impurezas, iniciando por tratamiento físico, seguida del químico y culminando en el microbiológico. • El procedimiento de operación permitirá manejar adecuadamente el sistema modular para el aseguramiento de la calidad de agua potable para uso en viviendas.	1. Diseño del sistema modular para uso en viviendas	1.1 Parámetros de diseño	• Caudal de alimentación agua potable	• Volumen • Tiempo de funcionamiento . • Impurezas físicas • Impurezas químicas • Impurezas microbiológicas	Razón Razón Nominal Nominal Nominal	
				1.2 Diseño del sistema modular	• Unidad de tratamiento físico	• Capacidad del módulo • Diseño del modulo	Razón Nominal	
					• Unidades de tratamiento químico	• Capacidad del módulo • Diseño del módulo intercambio iónico ciclo sodio	Razón Nominal	
					• Unidad de tratamiento microbiológico	• Capacidad del módulo • Diseño del modulo	Razón Nominal	
					• Sistema modular	• Diseño del sistema modular	Nominal	
			Variable de interés	2.1 Construcción del sistema modular	• Configuración	• Montaje del sistema modular	Nominal	
			2. Construcción del sistema modular para uso en viviendas	2,2 Operación del sistema modular	• Servicio • Retrolavado • Regeneración • Lavado	• Procedimiento • Procedimiento • Procedimiento • Procedimiento	Nominal Nominal Nominal Nominal	

Nota. Elaboración propia

Anexo 2. Concentración del regenerante cloruro de sodio

% NaCl	g NaCl / l	Gravedad especifica
1	10,05	1,0053
2	20,25	1,0125
4	41,97	1,0268
6	62,48	1,0413
8	84,47	1,0559
10	107,10	1,0707
12	130,30	1,0857
16	178,60	1,1162
20	220,60	1,1478
26	311,30	1,1972

Nota. (Rohm and Haas Company, s.f., p. 25)

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION • HUACHO •

Anexo 3. Materiales y accesorios utilizados en el sistema modular

Tubería de 4 Pulgadas (DI = 114 mm) para agua.

Cedula de la tubería de *4 Pulgadas (DI = 114 mm) para agua*

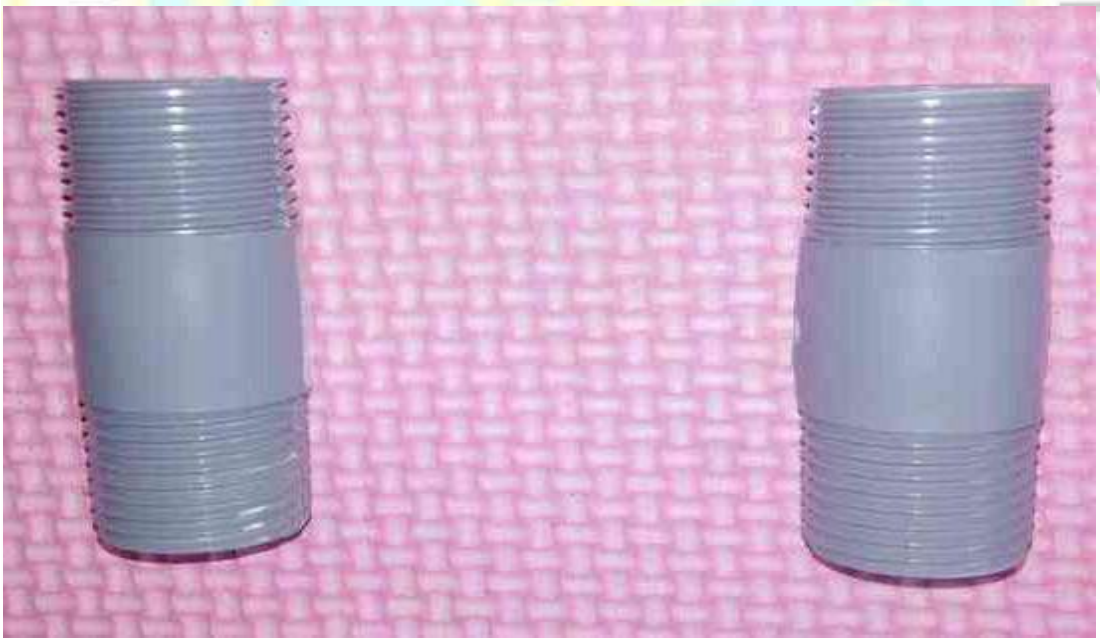
Tubos de PVC de 1/2 Pulgadas para agua.

Tapas de PVC para agua de 4 Pulgadas.

Adaptadores de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

O-ring, sellos hidráulicos medida según adaptador.

Unión mixta de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.



Niples de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

Unión universal de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

Te de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

Codos de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

Válvulas de bola de PVC para agua de 1/2 Pulgadas.

Cintas de teflón y pegamento.

Lámpara UV.

Terraja para la confección de roscas en tuberías de PVC para ½ pulg.

Anexo 4. Preparación de accesorios del sistema modular

Preparación de las tapas y columnas de los módulos

Anexo 5. Reporte de similitud Turnitin

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE PARA USO EN VIVIENDAS, 2018

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	2%
2	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	revistas.unah.edu.cu Fuente de Internet	<1%
4	www.revistafuturos.info Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1%

TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE PARA USO EN VIVIENDAS, 2018

M(o). LUIS ROLANDO GONZALES TORRES
Registro CIP 26867
Asesor

Dr. BERARDO BEDER RUIZ SANCHEZ
Registro CIP 26627
Presidente

M(o) ALGEMIRO JULIO MUÑOZ VILELA
Registro CIP 116199
Secretario

M(o). JHON HERBERT OBISPO GAVINO
Registro CIP 68007
Vocal