

## Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua por osmosis inversa

Design and construction of a reverse osmosis water treatment plant

**Lisbeth Fabiola Figueroa-Moreno**

lisbeth.figueroa@educación.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-2984-662X>  
Unidad Educativa Fiscal Lcda. Águeda González  
Quiñonez, Esmeraldas-Ecuador

**Karina Elizabeth Torres-Mendoza**

karina.torres.mendoza@utelvt.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-7673-3409>  
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de  
Esmeraldas-Ecuador

**David Ricardo Macas-Mendoza**

david.macas.mendoza@utelvt.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-2913-5956>  
Facultad de Ingenierías de la Universidad  
Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-  
Ecuador

**Rosalba Mercedes Lara-Tambaco**

rosalba.lara@utelvt.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-5899-4261>  
Facultad de Ingenierías de la Universidad  
Técnica Luis Vargas Torres de  
Esmeraldas-Ecuador.

### RESUMEN

La ósmosis inversa puede ser considerada como el grado más avanzado de filtración que se ha inventado para la purificación del agua, sin añadir ninguna sustancia química, siendo la tecnología más utilizada en algunos países para convertir el agua de mar (salada) en agua desalinizada o apta para el consumo. Entre los factores importantes que tiene esta planta están los siguientes: es muy didáctica, de fácil ensamblaje y manejo, ocupa muy poco espacio, realiza el proceso de purificación en una sola etapa y de forma continua, su costo de mantenimiento es muy bajo en comparación con otras plantas de potabilización de agua. Puede ser usada en colegios, hogares, industrias, etc. La variable que se utilizó en esta investigación fue la presión por ser uno de los parámetros fundamentales para el funcionamiento de la planta además mediante el método comparativo se elaboró una tabla con los resultados del tratamiento realizado por el agua potable y el efectuado por Osmosis Inversa, donde se pudo comprobar que los análisis realizados a la planta de Osmosis inversa cumplen con mayor precisión en la norma INEN NTE 1108:2011, Agua Potable.

**Palabras claves:** Planta de Tratamiento de Agua, Osmosis Inversa, Purificación de Agua.

### ABSTRACT

Reverse osmosis can be considered the most advanced degree of filtration that has been invented for water purification, without adding any chemical substance, being the most widely used technology in some countries to convert seawater (salt) into desalinated water or suitable for consumption. Among the important factors that this plant has are the following: it is very didactic, easy to assemble and use, it takes up very little space, it carries out the purification process in a single stage and continuously, its maintenance cost is very low in comparison with other water purification plants. It can be used in schools, homes, industries, etc. The variable that was used in this investigation was the pressure because it is one of the fundamental parameters for the operation of the plant. In addition, through the comparative method, a table was prepared with the results of the treatment carried out by drinking water and that carried out by Reverse Osmosis, where it was possible to verify that the analyzes carried out on the reverse osmosis plant comply more precisely with the INEN NTE 1108:2011 standard, Drinking Water.

**Keywords:** Water Treatment Plant, Reverse Osmosis, Water Purification.

### INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más valiosos del planeta. Este líquido es importante porque en él se originó la vida y demás procesos vitales de los seres están asociados con el agua. Por otro lado, prácticamente cualquier actividad que intente realizar el hombre requiere del agua (domésticos, agrícolas, industriales y de servicios).

El agua es débilmente ionizable, conteniendo siempre algunos iones de hidrógeno, dando un pH próximo a seis. La concentración de iones en el agua es muy importante para nuestro organismo. Este conjunto de propiedades, apenas embozadas, hacen que el agua sea un disolvente de sales y gases, y por ello es causa de problemas de: incrustaciones, sedimentos, corrosiones y picaduras en las tuberías, calderos y equipos, cuya prevención exige tratamientos específicos para cada instalación en función del tipo de agua que se utiliza y del fin a que se destina.

La necesidad de diseñar un sistema de purificación de agua con respecto a nuestros conocimientos como futuros profesionales se ha envuelto en mejorar la calidad del agua potable apta para nuestro consumo, por lo que hemos utilizado la Osmosis Inversa como innovadora y nueva tecnología. La osmosis natural o directa es conocida desde la antigüedad y consiste en la disolución de un solvente (normalmente agua) y un soluto formado por uno o varios componentes químicos en disolución.

Si colocamos a un lado de la membrana agua pura y al otro lado agua con sales minerales, pasará agua pura hacia el lado del agua con sales hasta que se equilibren las presiones. La diferencia de la altura manométrica entre ambos niveles es lo que se conoce como presión osmótica de la disolución.

Este es el fenómeno natural de osmosis. La teoría permitió plantearse qué pasaría si se aumenta la presión del agua con sales (salobre) ya que, si se producía el fenómeno inverso, es decir, pasaba agua limpia del lado salobre al otro lado

dispondríamos de un sistema para eliminar sales de un agua cargada de los mismos o también para concentrar un soluto que se pudiera precisar. Por lo tanto, si aplicamos una presión exterior superior a su presión osmótica natural a la solución concentrada fluye el disolvente y se produce una concentración de solutos (sales) y en consecuencia se consigue disminuir la salinidad del agua.

El fenómeno contrario a la osmosis natural es lo que conocemos como Osmosis Inversa. Con este proceso se puede realizar procesos de separación y/o concentración, este método permite eliminar la mayoría de los sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua, eliminar materias suspendidas y microorganismos y realiza el proceso de purificación en una sola etapa y de forma continua en una tecnología muy simple en su utilización y mantenimiento.

En Esmeraldas debido al mantenimiento de las redes de agua potable obtenemos agua de no tan buena calidad por lo tanto se da la necesidad de implementar una planta de tratamiento de agua que obtenga bajo costo, que sea fácil de utilizar y su mantenimiento sea rápido y manejable.

Debido a que el tratamiento por Osmosis Inversa cumple con los parámetros antes mencionados y permite obtener mayores resultados en comparación con otros métodos de tratamiento de agua se instalará en la Facultad de Ingenierías y Tecnologías para realizar la utilización de agua en el ámbito que se estime conveniente por su efectividad.

## Aspectos conceptuales

### Contaminación del agua

La contaminación de las aguas naturales, los ríos, lagos, y el mar se genera específicamente por dos aspectos principales, por un lado, la descarga de las aguas residuales municipales de usos domésticos; por otro, la descarga de vertidos industriales.

La descarga a las alcantarillas es casi toda de tipo orgánico, por lo que su tratamiento no es necesario que sea muy complicado. En los últimos años, un factor nuevo que ha venido a complicar el tratamiento de las aguas residuales domésticas, ha sido la introducción de los detergentes, los primeros eran incapaces de degradación biológica y, en consecuencia, planteaban serios problemas a las técnicas normalizadas de tratamiento. Se presionó sobre los fabricantes para aliviar este problema, y el resultado ha sido que la mayor parte de los detergentes actuales se pueden destruir en plantas adecuadas de aguas residuales.

### Tipos de contaminación del agua

Según lo expuesto por Portal Contaminatex se produce por la incorporación de materias extrañas como:

- a) *Agentes patógenos*: Son los virus, bacterias, protozoarios y parásitos que provienen de los desechos orgánicos, estos desechos para descomponerse requieren del oxígeno agotando el oxígeno del agua y exterminando la vida acuática.
- b) *Sustancias químicas inorgánicas*: son todas las sustancias que carecen de enlaces entre átomos de carbono y átomos de hidrógeno. Los ácidos, y los compuestos de metales tóxicos como el plomo y mercurio son sustancias inorgánicas que contaminan el agua.
- c) *Sustancias químicas orgánicas*: Son sustancias simples o compuestas, de rápida o lenta degradación persistencia, de alta toxicidad, ninguna poca o alta toxicidad, generalmente presentes como residuos de las actividades humanas, que llegan al medio acuático por medio de detergentes, plaguicidas, plásticos y petróleo.
- d) *Sedimentos o materia suspendida*: Son partículas insolubles del suelo que enturbian el agua, estas son el mayor agente contaminante del agua.
- e) *Deshechos marítimos*: En ocasiones devueltos a la costa siendo peligrosos para los bañistas y casando enfermedades al que estos estén en contacto con el mar; se inician sustancias tóxicas en la cadena alimentaria y se van propagando a los organismos superiores de dicha cadena.
- f) La contaminación en los mares también ayuda a la proliferación de algas tóxicas, el deterioro y la pérdida de ecosistemas costeros como los arrecifes de coral y reduce la calidad del entorno visto desde lo turístico.

### Características del agua potable

El agua potable apta para el consumo humano puede ser ingerida en cantidades normales sin que sea causa de enfermedad. Sus características son múltiples. Entre las principales tenemos:

- Calidad estética: Color, olor, sabor, turbiedad, pH, alcalinidad entre otras.
- Calidad microbiológica: Debe estar libre de organismos coliformes fecales.

- Calidad química: Debe estar dentro de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para sustancias tóxicas y plaguicidas.

### Requisitos específicos

Según lo establecido por las NORMAS NTE INEN 1108 – 2011 el agua para el consumo humano debe cumplir con los siguientes requisitos:

Parámetro Físicos	Unidad	Límite máximo permitido
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	-----	No objetable
Sabor	-----	No objetable
Inorgánicos		
Antimonio, (Sb)	mg/l	0,02
Arsénico, (As)	mg/l	0,01
Bario (Ba)	mg/l	0,7
Boro (B)	mg/l	2,4
Cadmio, (Cd)	mg/l	0,003
Cianuros, (CN)	mg/l	0,07
Cloro libre residual	mg/l	0,3 a 1,5
Cobre (Cu)	mg/l	2,0
Cromo (Cr) Cromo total	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio (Hg)	mg/l	0,006
Níquel (Ni)	mg/l	0,07
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/l	3,0
Plomo (Pb)	mg/l	0,01
Radiación total $\alpha$	Bq/l	0,5
Radiación total $\beta$	Bq/l	1,0
Selenio (Se)	mg/l	0,04
Microbiológicos		
Numero de colonias	Ufc	0
Coliformes totales	NMP	< 1
Escherichiacoli	NMP	< 1,1

### Proceso del tratamiento del agua

Los métodos que se emplean para tratar el agua dependen en gran parte del fin a que se destina el abastecimiento.

Para determinar la necesidad y la correcta tecnología de tratamiento, habrá que definir de donde proviene, lo cual llevara a entender porque el agua debe ser tratada de diferente manera, de acuerdo con la fuente de abastecimiento y las características específicas del agua.

Por lo general, los métodos que comúnmente se empleen en la práctica para el tratamiento de agua tienen como objetivo principal, eliminar las impurezas o sustancias extrañas del líquido. Aun cuando se agreguen productos químicos al agua, esto se hace con el propósito de eliminar cantidades muchos mayores de materiales que las que se añaden. Hay casos, sin embargo, en que ciertos constituyentes del agua se eliminan substituyéndolos por otras sustancias que se agregan; y en otros casos, las sustancias que se agregan pueden tener como finalidad impartir al agua ciertas características deseables.

Dentro de la calidad del agua debemos tomar en consideración medir las características físicas, químicas y biológicas del agua; para lo cual hay que tener presente los parámetros que debe tener dicho elemento para consumo humano.

### Objetivos del tratamiento del agua

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

- *Higiénico*: remover bacterias y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la mineralización excesiva y las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, protozoarios y otros microorganismos.
- *Estético*: corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor.
- *Económico*: reducir la corrosión, la dureza, el color, la turbidez; reducir las concentraciones de hierro y manganeso; resolver problemas de olor y sabor, etcétera.

### Métodos para tratamiento de agua

Existen diferentes métodos para clasificar los sistemas de tratamiento del agua. Por un lado, se pueden clasificar en función del método de purificación utilizado en el proceso; sedimentación o deposición, tratamiento físico (membranas) o químico del agua (cloración), tratamiento biológico (oxidación). Además, se pueden clasificar los sistemas de tratamiento de agua según la complejidad de instalación y costos, o bien en función de si es más o menos beneficioso para la salud según sus resultados de purificación del agua y cómo la purifican. Para este proyecto utilizamos el tratamiento de agua por Osmosis Inversa y se detalla a continuación:

### Osmosis inversa

En el caso de la Osmosis, el solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semipermeable. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Este fenómeno natural es conocido como "Osmosis".

### Presión osmótica

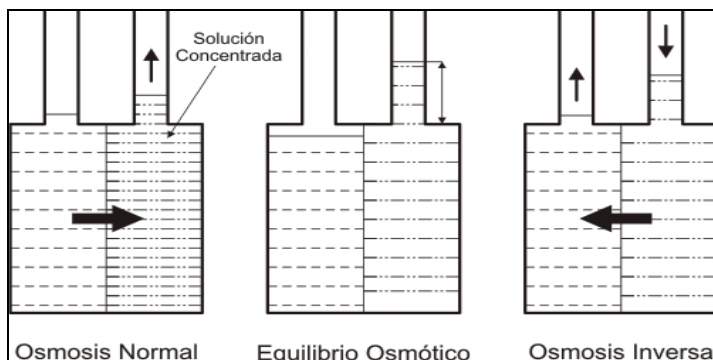
La presión osmótica puede definirse como la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica es una de las cuatro propiedades coligativas de las soluciones (dependen del número de partículas en disolución, sin importar su naturaleza). Se trata de una de las características principales a tener en cuenta en las relaciones de los líquidos que constituyen el medio interno de los seres vivos, ya que la membrana plasmática regula la entrada y salida de soluto al medio extracelular que la rodea, ejerciendo de barrera de control.

### Fenómeno de osmosis inversa

Este fenómeno se determina tomando en consideración la posibilidad de invertir la presión osmótica aplicando una presión igual o superior a la misma, en el lado de la solución más concentrada para de esta manera provocar el paso del agua en sentido inverso. Este fenómeno se llama osmosis inversa. La ósmosis inversa es la separación de componentes orgánicos e inorgánicos del agua por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable mayor que la presión osmótica de la solución. La presión forzar al agua pura a través de la membrana semipermeable, dejando atrás los sólidos disueltos. El resultado es un flujo de agua pura, esencialmente libre de minerales, coloides, partículas de materia y bacterias.

El agua se hace pasar a través de membranas que dividen el flujo en dos efluentes uno concentrado y otro que se conoce como permeado, la membrana es una película semipermeable que permite permear agua con una baja concentración de contaminantes debido a la diferencia de presión osmótica generada entre el efluente de alimentación, el permeado y la membrana. El Permeado es un efluente bajo en sales y el Rechazo es un efluente con alto contenido de sales y contaminantes.

**Figura 1.** Esquema de fenómeno de Osmosis inversa.



Fuente: Textos científicos (2007)

### La ósmosis y la ósmosis inversa

El fenómeno de la Osmosis fue descubierto por REIB y BRETON entre 1953 y 1959 y LOEB y SOURIRAJAN hicieron en 1960 el Gran Avance sobre OSMOSIS con Membranas de Acetato descubierto por NOLLET en 1748 proponiendo que La Ósmosis es un fenómeno muy común en la naturaleza.

Tanto el organismo de los animales y plantas como el propio cuerpo humano se sirven de la Ósmosis para realizar una gran cantidad de procesos Cuando dos fluidos de distinta densidad se encuentran separados por una membrana semipermeable existe una diferencia de presión entre ambos, y el fluido menos denso tiene a pasar a través de la membrana hasta equilibrar dicha presión. Este es el fenómeno conocido como Ósmosis. En la industria, esa tendencia natural se fuerza a actuar en sentido inverso en lo que lo haría la naturaleza. Este hecho es el que da el nombre al sistema que al

llamamos Ósmosis Inversa.

### **Beneficios de la osmosis inversa**

- Remueve hasta el 99% de los sólidos disueltos en el agua, ya sean orgánicos o inorgánicos.
- No requiere de un mantenimiento complicado debido a la simplicidad de su tecnología
- Permite ahorrar energía ya que no necesita de cambio de fase.
- Es capaz de remover microorganismos presentes en el agua.
- El proceso se realiza de forma continua y en una sola etapa.
- Ahorra espacio ya que es un proceso modular.

### **Descripción del equipo de osmosis inversa**

#### **Componentes de Equipo**

##### *a) Filtro de sedimento de 5 micras*

Este filtro de sedimentos de 5 micras este hecho de fibras de polipropileno puro de 100%. Filtro de alta capacidad elimina el polvo, partículas y lodos.

**Figura 2.** *Filtro de sedimento de 5 micras.*



##### *b) Filtro de carbón activado granular*

Este filtro granular de carbón activado se compone de carbón de alto rendimiento que quita cloro libre, olor, contaminantes orgánicos, plaguicidas y productos químicos que contribuyen al gusto y olor.

**Figura 3.** *Filtro de carbón activado granular.*



##### *c) Filtro de bloque de carbón*

Este filtro de carbón de bloque se compone de carbón de alto rendimiento que quita cloro, olor, contaminantes orgánicos, y productos químicos que contribuyen al mal olor.

**Figura 4.** *Filtro de bloque de carbón.*



d) Filtro de carbón compuesto

Este filtro de carbón compuesto está diseñado para mejorar el sabor. Elimina las impurezas residuales y olores del tanque y proporciona un acondicionamiento más fino de agua pura.

**Figura 5.** Filtro de carbón compuesto.



e) Membrana

Las membranas alto rechazo TFC tipo membrana con la capacidad de producir 30 / 150 galones por día.

**Figura 6.** Membrana



### Especificaciones

Modelo: VX-TW30-150

Membrana: 150 GPD

Presión de funcionamiento: 40-85 psi

### Sistemas de membranas

Este tipo de tecnologías es muy utilizado en la separación de diferentes tipos de residuos. El sistema de membranas trabaja sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de procesos fáciles y bien operativos.

Las membranas se utilizan de manera muy particular para la obtención de agua tratada procedente de aguas subterráneas, superficiales o residuales. El principio es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que dejara pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. La membrana funciona como una pared de separación selectiva, ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella.

Hay dos factores que determinan la efectividad de un proceso de filtración de membrana: selectividad y productividad. La selectividad se expresa mediante un parámetro llamado factor de retención o de separación mientras que la productividad se expresa mediante un parámetro llamado flujo. Estos dos parámetros dependen del tipo de membrana que se utilice dentro de un sistema de purificación de agua.

### Técnicas de membrana

En las tecnologías de membrana los desarrolladas corresponden a variantes de los procesos clásicos, como nuevas membranas que tengan cualidades de mejor resistencia o variadas aplicaciones.

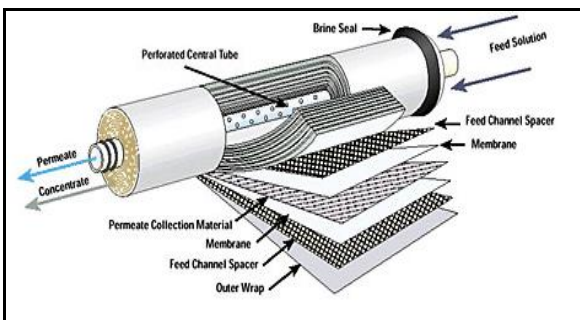
Algunos ejemplos son:

1. Quelación + ultrafiltración, Osmosis Inversa, Charged Ultrafiltración, Crossflow microfiltración
2. Nanofiltración con membranas comerciales NF200 y DS5
3. Membranas de osmosis inversa, con AFC99 membrana in tubular module B1, PCI, and the FT30 membrane in a spiral-wound element BW3040, FilmTec

### Membrana semipermeable

Una membrana semipermeable es cualquier membrana animal, vegetal o sintética en la que el agua puede penetrar y traspasar con mucha más facilidad que los otros componentes que se encuentran en dicha solución.

**Figura 7.** Esquema membrana semipermeable.



El proceso se llama osmosis inversa puesto que requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana; saliendo las impurezas detrás. La osmosis inversa es capaz de quitar entre un 95 a 99% los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99 % de todas las bacterias para de esta manera generar agua segura y de buena calidad para el consumo humano. Dependiendo del material de las membranas, ciertos factores afectaran la calidad y la cantidad del agua producida a través de esta tecnología. En la actualidad hay tres tipos de materiales para membranas que son usados en sistemas de osmosis inversa:

ACETATO DE CELULOSA, POLIAMIDAS.

#### f) Porta membrana

Fabricada por un material de polipropileno de alta calidad, su medida es de 2" x 10" aprobado por la FDA Temperatura de 2° a 45°

Presión máxima: 500 PSI

Operación máxima: 125 PSI

**Figura 8.** Porta membrana.



#### g) Luz ultravioleta

La luz ultravioleta es muy importante en el sistema ya que esta causa la muerte inmediata de microorganismo esterilizándolos. Así impide que sobrevivan y se reproduzcan.

**Figura 9.** Luz ultravioleta.



### Consideraciones de diseño

A la hora del diseño de la planta de tratamiento de agua por osmosis inversa, se hace necesario tener un conocimiento mínimo de algunas herramientas matemáticas básicas, para comprender la obtención de las medidas reales de los tanques, ya sea su diámetro, volumen, volumen de los lechos, alturas, entre otros.

**Caudal:**  $Q = v.A$

Dónde:

**A:** área (ft<sup>2</sup>).

**Q:** Caudal (galones por minuto (gpm)).

**V:** Velocidad final (gpm/ft<sup>2</sup>).

**Área:**  $A = \pi (D^2/2)$

Dónde:

**A:** área (ft<sup>2</sup>).

**D:** Diámetro (ft).

### Cálculo de las pérdidas de energía en los elementos del sistema

La energía que posee el fluido se puede determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + W = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Donde:

- $\gamma$  es el peso específico ( $\gamma = \rho g$ ).
- $W$  es una medida de la energía que se le suministra al fluido.
- $h_f$  es una medida de la energía empleada en vencer las fuerzas de fricción a través del recorrido del fluido.
- Los subíndices **1** y **2** indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

### Tipo de flujo en un sistema de transporte

Para analizar el comportamiento del fluido que en nuestro caso es agua, dependerá si el flujo es laminar o turbulento como se estudia posteriormente en el cálculo.

Para predecir el tipo de flujo que pasa a través de las tuberías sin tener que observarlo en realidad utilizamos el Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$



o equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido

$v_s$ : Velocidad característica del fluido

$D$ : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud

Característica del sistema

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido

### Pérdidas por fricción en flujo laminar

Si existiese este tipo de flujo en el sistema de purificación, el fluido parecería moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido (Agua), se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. La energía se pierde del fluido por la acción de las fuerzas de fricción de la tubería de succión y descarga que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, podemos obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille. La pérdida de energía debida a la fricción en el flujo laminar puede calcularse con la Ecuación de Hagen-Poiseuille o con la ecuación de Darcy.

$$h_l = \frac{32u.L.v}{Y.D^2}$$

Darcy-Weisbach es:

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

Donde:

$h_f$  = pérdida de carga debida a la fricción.

$f$  = factor de fricción de Darcy.

$L$  = longitud de la tubería.

$D$  = diámetro de la tubería.

$V$  = velocidad media del fluido.

$g$  = aceleración de la gravedad  $\approx 9,80665$  m/s<sup>2</sup>.

### Cálculo pérdidas por diámetro de tubería

$$D = \sqrt{\frac{As \times 4}{\pi}}$$

Cálculo del área de la tubería de succión 3/4"

$$As = \frac{\pi \times D_s^2}{4}$$

### Cálculo del factor de fricción de la nueva tubería

En este análisis tomamos como factor importante el Número de Reynolds para la zona donde existe flujo turbulento; expuesto en la siguiente formula.

$$f_t = \frac{0.25}{\left\{ \log \left( \frac{1}{3.70 \times D/\epsilon} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right\}^2}$$

### Cálculo de pérdidas mayores

$$h_l = f_t \times L_s / D_s \times [V_s]^2 / 2g$$

Donde:

$L_s$  = Longitud de la tubería de succión y Descarga

$D_s$  = Diámetro de succión de una tubería de diámetro nominal de 3/4"

$h_l$  = Perdida en la tubería de succión y descarga

### Calculo perdidas menores

Para calcular las perdidas menores de energía que se producen en accesorios, utilizamos la siguiente ecuación.

$$h_l = K \times v^2 / 2g$$

$K$  = Coeficiente de resistencia (dado por cada elemento)

$v$  = Velocidad del flujo en el conducto

$g$  = Gravedad Especifica (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h_l$  = Perdida menor

### Cálculo de pérdida de energía en la orilla de acoplamiento del tanque

Coeficiente de Resistencia en la orilla del tanque  $K = 0,5$

$$h_l = K_{orilla} \times (v_s)^2 / 2g$$

### Cálculo del área de la tubería de descarga

$$A_s = (\pi \times [D_s]^2) / 4$$

### Cálculo de la pérdida en codos de 90°

Coeficiente de Resistencia en la orilla del tanque  $K$

$$h_l = K_{CODO 90^\circ} \times (v_s)^2 / 2g$$

$L_c/D$  = Long equivalente en diámetro de Tubería

$f_t$  = Factor de fricción para tubería de 1/2"

### Cálculo de las perdidas en tee 1/2"

$$h_l = K_{tee} \times (v_s)^2 / 2g$$

$L_c/D$  = Long equivalente en diámetro de Tubería

$f_t$  = Factor de fricción para tubería de 1/2"

### Cálculo de pérdida en válvula de bola de 1/4"

Para el cálculo de la perdida de energía en este tipo de válvula utilizamos la fórmula que a continuación indicamos; tomando en consideración abierta al 100%.

$$h_l = (k_{vcx} \times [v_d])^2 / 2g$$

$L_c/D$  = válvula completamente abierta (Long equivalente en diámetro de Tubería)

$f_t$  = factor de fricción para tubería de 1/2"

## METODOLOGIA

### Diseño y construcción de la planta de tratamiento de agua por osmosis inversa

Una vez que está determinado que la tecnología a aplicar en el diseño de la planta es la Osmosis Inversa, se establece que el volumen por día es de 150 gal/día. Los accesorios y diseño a seguir para su instalación son:

## Diseño de la planta de potabilización por osmosis inversa

### Datos del sistema

Q= 150 GPD (Galones por día de producción de agua purificada)

$\rho = 998 \text{ m}^3$

kg Densidad del agua 20°C a nivel de la ciudad de Quito.

$\mu = 1,02 \times 10^{-3}$  Viscosidad dinámica del agua a 20°C

$D_s = 0,02660 \text{ m}$  (Diámetro interior de succión de una tubería de diámetro nominal equivalente a 1")

$D_r = 0,0209 \text{ m}$  (Diámetro interior tubería de regulación de caudal de dimensión nominal equivalente a 3/4")

$D_d = 0,01580 \text{ m}$  (Diámetro interior de descarga fluido de una tubería de diámetro nominal equivalente a 1/2").

**Tabla 1. Materiales y accesorios**

#	Equipo /Accesorio	Dimensión
3	Filtro	10" x 4"
1	Tubo PVC	1/2"
1	TEE	1/2"
1	Tanque PVC	55 litros.
3	Unión Universal	1/2"
6	Codos	1/2"
1	Válvula	1/2"
1	Estructura tubo de acero cuadrado	1/4"
1	Teflón	1/4"
	Kits de mangueras colores	1/4"

### Cálculo de la pérdida de energía en los elementos del sistema

La Finalidad del cálculo de la pérdida de energía es evitar una incorrecta selección de bomba, también realizar un correcto dimensionamiento en las líneas de succión y descarga del equipo para que el sistema cumpla con los parámetros inicialmente establecidos.

### Ecuación general de la energía

$$E'1 + hA - hR - hL = E'2$$

Donde:

E'1= Energía que posee el fluido por unidad de peso en la sección 1.

E'2= Energía que posee el fluido por unidad de peso en la sección 2.

hA= Energía agregada

hR= Energía removida

hL= Pérdidas

Para la realización de cálculos utilizaremos las siguientes tablas:

**Tabla 2. Dimensiones de tuberías de acero**

**F Dimensiones de tuberías de acero**

**TABLA F.1 Cédula 40.**

Tamaño nom. de tubería (pulg.)	Diámetro exterior (pulg.) (mm)		Espesor de pared (pulg.) (mm)		Diámetro interior (pulg.) (pies) (mm)			Flujo de área (pies <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> )	
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 <sup>-5</sup>
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 <sup>-5</sup>
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 <sup>-4</sup>
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 <sup>-4</sup>
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 <sup>-4</sup>
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 <sup>-4</sup>
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 <sup>-4</sup>
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 <sup>-3</sup>
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 <sup>-3</sup>
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 <sup>-3</sup>
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 <sup>-3</sup>
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 <sup>-3</sup>
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 <sup>-3</sup>
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 <sup>-2</sup>
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 <sup>-2</sup>
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 <sup>-2</sup>
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 <sup>-2</sup>
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 <sup>-2</sup>
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 <sup>-2</sup>
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluido 4ta edición editorial Pearson educación México 2006, pág. 282

**Tabla 3.** Longitud equivalente en diámetros de tubería.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a $90^\circ$	30
Codo a $90^\circ$ de radio largo	20
Codo roscado a $90^\circ$	50
Codo estándar a $45^\circ$	16
Codo roscado a $45^\circ$	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluido 4ta edición editorial Pearson educación México 2006, pág. 282

**Tabla 4.** Rango recomendado de velocidad.

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2–4	0.6–1.2
Líneas de retorno	4–13	1.5–4
Líneas de descarga	7–18	2–5.5

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluido 4ta edición editorial Pearson educación México 2006, pág. 282

**Tabla 5.** Tamaño nominal de la tubería.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_f$	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_f$
$1/2$	0.027	$3 1/2$ , 4	0.017
$3/4$	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
$1 1/4$	0.022	8–10	0.014
$1 1/2$	0.021	12–16	0.013
2	0.019	18–24	0.012
$2 1/2$ , 3	0.018		

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluido 4ta edición editorial Pearson educación México 2006, pág. 282.

**Tabla 6.** Materiales con rugosidad.

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluido 4ta edición editorial Pearson educación México 2006, pág. 282

**Cálculo de la etapa de succión**

Se considera un caudal nominal de 15 litros/min.

El Cálculo se realiza considerando el área de flujo de la membrana utilizando equivalente a  $8,41 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$Q = v \cdot A$$

Datos:

$$Q = 15 \text{ lt/min} \times 0.001 \text{ m}^3/\text{lt} \times 1 \text{ min}/60 \text{ seg} = 2.54 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = 8.41 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Por lo tanto:

$$V = Q/A$$

$$V = 0,30 \text{ m/seg.}$$

Para la selección de la tubería de succión se realizó el siguiente calculo donde se toma en consideración una velocidad media  $0,9 \text{ m/seg}$ . Ver Tabla 3.1A

$$A_s = Q/V_s$$

$$A_s = 2,54 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} / 0,9 \text{ m/seg}$$

$$A_s = 2,82 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Se tomó una velocidad media entre el rango de velocidades para la succión.

**Cálculo del diámetro de la tubería**

Se obtendrá calculando el área transversal de la tubería que a su vez será la misma:

$$D = \sqrt{\frac{A_s \times 4}{\pi}}$$

$$D = 1,90 \times 10^{-2} \text{ m} \times 39,37 \text{ pulg}/1 \text{ m} = 0,75 \text{ pulg.}$$

Con este dato obtenido se puede dar como conclusión que el diámetro para la succión de la bomba sería  $0.75$  pulgadas.

**Perdidas mayores**

Para realizar estos cálculos se lo hará con el diámetro interno de la tubería. Se utilizará tubería de acero galvanizado Cedula 40, este tipo de tubería es fácil de hallar en nuestro medio. Las perdidas mayores en un sistema de tuberías se generan por la fricción de las tuberías o elementos de gran longitud.

**Cálculo del área de la tubería de succión 3/4"**

Con el diámetro externo se puede obtener el diámetro interno a través de la siguiente fórmula:

$$D_s = 0,0209 \text{ pulgadas (tabla 2)}$$

$$A_s = \frac{\pi \times D_s^2}{4} = 3,43 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Cálculo de la velocidad de succión**

$$V_s = \frac{Q}{A_s}$$

$$V_s = 0,74 \text{ m/seg}$$

**Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de succión de 3/4"**

**Datos**

$\rho =$	998	kg/m
$V_s =$	0,74	m/s
$D_s =$	0,0209	M
$\mu =$	1,02E-03	N.s/m <sup>2</sup>

$$NRe = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_s}{\mu}$$

$$NRe = 15139,74$$

Al realizar los cálculos del N° de Reynolds se obtiene que su valor es Turbulento ya que su valor sobrepasa el límite de flujo laminar debido a que los valores permisibles se encuentran en los siguientes rangos:

Si  $Nr < 2000$  el flujo es laminar

Si  $Nr > 2000$  el flujo es Turbulento

**Cálculo de la rugosidad relativa**

En este análisis tomamos el valor de la rugosidad relativa del PVC por tablas que equivale a  $3,0 \times 10^{-7}$  m (tabla N° 6)

$D/E =$  Diámetro tubería/Rugosidad Relativa

$$D/E = 0,0209\text{m}/3 \times 10^{-7}\text{m}$$

$$D/E = 69666,7$$

**Cálculo del factor de fricción de la nueva tubería**

En este análisis tomamos como factor importante el Número de Reynolds para la zona donde existe flujo turbulento; expuesto en la siguiente formula.

$$f_t = \frac{0.25}{\left\{ \log \left( \frac{1}{3.70 \times D/\varepsilon} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right\}}$$

$$f_t = \frac{0.25}{\left\{ \log \left( \frac{1}{3.70 \times 69666,7} + \frac{5.74}{9202.15^{0.90}} \right) \right\}}$$

$$f_t = 0,032$$

Aplicando la fórmula de pérdidas mayores obtenemos:

$$h_l = f_t \times L_s / D_s \times [V_s]^2 / 2g$$

Donde:

$L_s =$  Longitud de la tubería de succión y Descarga

$D_s =$  Diámetro de succión de una tubería de diámetro nominal de 3/4"

$h_l =$  Pérdida en la tubería de succión y descarga

$$h_l = 0,41 \times 0,38 / 0,0209 \times 0,742^2 \times 9,81$$

$$h_l = 0,013 \text{ m}$$

**Perdidas menores**

Para calcular las pérdidas menores de energía que se producen en accesorios, utilizamos la siguiente ecuación.

$$h_l = K v^2 / 2g$$

$K =$  Coeficiente de resistencia (dado por cada elemento)

$v$  = Velocidad del flujo en el conducto

$g$  = Gravedad Especifica (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h_l$  = Perdida menor

**Cálculo de pérdida de energía en la orilla de acoplamiento del tanque**

Coficiente de Resistencia en la orilla del tanque  $K = 0,5$

$$h_l = K \cdot v^2 / (2g)$$

$$h_l = 0.5 \times (v^2) / (2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$h_l = 0,014 \text{ m}$$

**Cálculo en la etapa de descarga**

Se obtiene una velocidad media de 3m/s (tabla 4)

Con un Caudal de alimentación de 15 litros/min o 2,54 x10<sup>-4</sup>m<sup>3</sup>/seg.

$$A_s = Q/v$$

$$A_s = 8,47 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

**Cálculo del diámetro de la tubería**

Con el cálculo del área transversal obtenemos el diámetro:

$$D_s = \sqrt{(A_s \times 4) / \pi}$$

$$D_s = 0,014 \text{ m o } 0,4086 \text{ pulg.}$$

Al obtener los datos se concluye que lo mejor es utilizar una tubería de 1/2 " cedula 40 para la etapa de descarga.

**Cálculo del área de la tubería de descarga**

$$A_s = (\pi \times [D_s]^2) / 4$$

$$D_s = \text{Diámetro interno de la tubería de } 1/2" = 0,058 \text{ m}$$

$$A_s = 1,96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Cálculo de la velocidad de descarga**

$$V_s = Q/A_s$$

$$V_s = 1,295 \text{ m/seg}$$

**Cálculo de la pérdida de energía en la tubería de descarga 1/2"**

**Datos**

$\rho$ =	998	kg/m
$V_s$ =	1,30	m/s
$D_s$ =	0,0158	M
$\mu$ =	1,02E-03	N.s/m <sup>2</sup>

$$NRe = (\rho \cdot V_s \cdot D_s) / \mu$$

$$NRe = 20026,67$$

El flujo es laminar ya que sobrepasa el valor permisible de 4000.

**Cálculo de la rugosidad relativa**

En este análisis tomamos en consideración el valor de la rugosidad relativa del PVC = 3,0 x10<sup>-7</sup> m

$$D/E = D_s / \text{Rug. Relativa}$$

$$D/E = 0,0158/3 \times 10^{-7}$$

$$D/E = 52666,7$$

### Cálculo del factor de fricción de la nueva tubería

En este análisis tomamos como factor importante el Número de Reynolds para la zona donde existe flujo turbulento; expuesto en la siguiente fórmula.

$$f_t = 0.25 / \left( \log_{10} \left( \frac{1}{3.70 \times D/\epsilon} + \frac{5.74}{\left[ \text{NR} \right]^{0.90}} \right) \right)^2$$

$$f_t = 0.25 / \left( \log_{10} \left( \frac{1}{3.70 \times 52666.7} + \frac{5.74}{\left[ 20026.67 \right]^{0.90}} \right) \right)^2$$

$$f_t = 0,026$$

Aplicando la fórmula de pérdidas mayores obtenemos:

$$h_l = f_t \times L_s / D_s \times \left[ V_s \right]^2 / 2g$$

Donde:

Ls = Longitud de la tubería de succión y Descarga 1,3 m

Ds = Diámetro de succión de una tubería de diámetro nominal de 3/4"

hl = Pérdida en la tubería de succión y descarga

$$h_l = 0,182 \text{ m}$$

### Cálculo de la pérdida en codos de 90°

Coficiente de Resistencia en la orilla del tanque K

$$h_l = K \text{CODO } 90^\circ \times \left[ v_s \right]^2 / 2g$$

Lc/D = 30 (Long equivalente en diámetro de Tubería)

Ft = 0,027 Factor de fricción para tubería de 1/2"

$$K = L_s / D \times f_t$$

$$K = 0,81$$

$$h_l = 0.81 \times (v^2 \text{ m}) / (2(9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$h_l = 0,069 \text{ m}$$

### Cálculo de las pérdidas en Tee 1/2"

$$h_l = K_{tee} \times \left[ v_s \right]^2 / 2g$$

Lc/D = 20 (Long equivalente en diámetro de Tubería)

Ft = 0,027 Factor de fricción para tubería de 1/2"

$$K = L_s / D \times f_t$$

$$K = 0,54$$

$$h_l = 0,036$$

N° codos = 3 unidades

Pérdidas totales de energía en codos = 0,208 m

### Cálculo de pérdida en válvula de bola de 1/4"

Para el cálculo de la pérdida de energía en este tipo de válvula utilizamos la fórmula que a continuación indicamos; tomando en consideración abierta al 100%.

$$h_l = (k_{vc} \times [v_d]^2) / 2g$$

Lc/D = 150 válvula completamente abierta (Long equivalente en diámetro de Tubería)

Ft = 0,027 factor de fricción para tubería de 1/2"

$$K = L_s / D \times f_t$$

$$K = 4,05$$



$$hl = (4.05 \times [1.295]^2) / 2g$$

$$hl = 0,27 \text{ m}$$

**Tabla 7.** Cuantificación de las pérdidas de energía hl

Descripción	H (m)
<b>Succión</b>	
Tubería de Succión de 3/4"	0,013
Acoplamiento del Tanque de Orilla 3/4"	0,014
<b>Descarga</b>	
Tubería de Descarga de 1/2"	0,182
Válvula de Bola de 1/2"	0,27
Codo de 90° de 1/2"	0,208
Tee de 1/2"	0,036
<b>Total</b>	<b>0,720</b>

**Pérdida de energía en elementos filtrantes**

Para realizar este cálculo se debe de tomar en consideración la variación de presión obtenida mediante experimentos obtenidos.

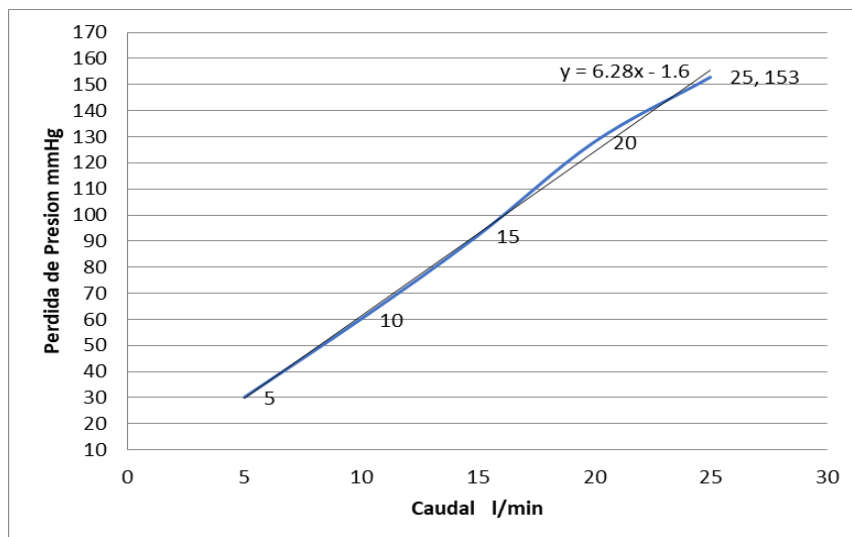
**Filtro de sedimentos**

De los datos obtenidos en el laboratorio se realizó una tabla de donde se pudo obtener una ecuación que es la siguiente:  $y = 6,28x - 1,6$

**Tabla 8.** Perdida de presión por caudal.

Caudal litros/min.	Perdida de Presión
5	30
10	60
15	92
20	128
25	153

**Figura 10.** Caudal vs perdida de presión en filtro de sedimento



El caudal que generamos es de 15 litros por minuto y procedemos a obtener la pérdida de presión.

La pérdida de energía es = 95,8 mm Hg / Esto es equivalente en psi = 1,853 psi.

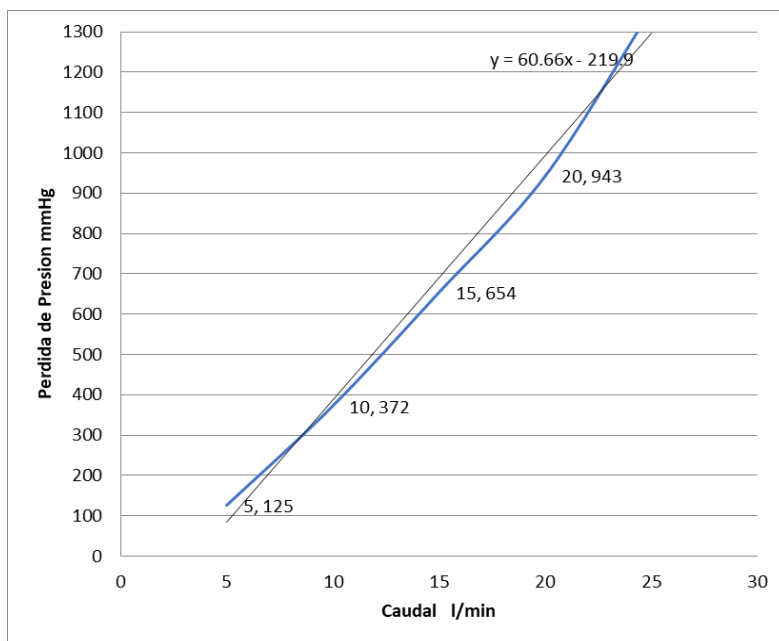
**Filtro de carbón activado**

Para este tipo de filtro realizamos el análisis ejecutado en el filtro de sedimentos en el cual se debe aplicar la ecuación obtenida mediante pruebas de ensayo para este elemento y considerar un caudal de ingreso en el mismo como se indica a continuación:  $y = 60.66x - 219.9$ .

**Tabla 9.** Pérdida de presión por caudal en filtro de carbón activado:

Caudal litros/min.	Pérdida de Presión
5	125
10	372
15	654
20	943
25	1356

**Figura 11.** Caudal vs pérdida de presión en filtro de carbón activado granular.



El Caudal que generamos es de 15 litros por minuto y procedemos a obtener la pérdida de presión. La pérdida de energía es = 690 mm Hg / Esto es equivalente en psi = 13,35 psi.

**Pérdida de presión en membrana semipermeable**

#	Model	Dia x Lgth	Test Pressure	Capacity (GPD)*	Rejection Rate**
60181250	Filmtec TW30-1812-50	2 x 12"	50 psi	50	>98%

Para obtener el cálculo de las pérdidas de energía en una membrana semipermeable debemos considerar la presión a la que trabaja; ya que al realizar pruebas experimentales en el laboratorio no se encontró variación de presión con la utilización y sin la utilización de este tipo de elemento.

Se utilizará la energía mínima de trabajo a 25% = 12,50 m

**Pérdida de energía en el sistema de purificación de agua**

**Tabla 10. Pérdida de presión en elementos del sistema de purificación.**

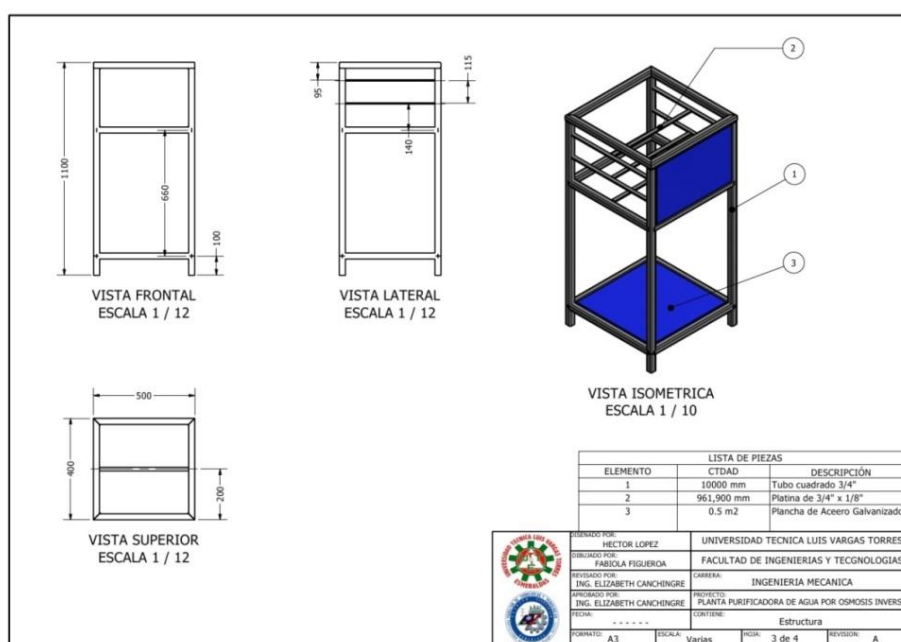
Elemento que pierden presión	Alturas equivalentes
Elementos de Fricción	0,720
Filtros de Trabajo	15,20
Membrana	12,50
<b>Total</b>	<b>28,4187</b>

Con la altura equivalente podemos seleccionar una bomba para producir determinado caudal 28,1333 m (15lt/min). Se procedió a comprar una bomba con estas especificaciones. La bomba seleccionada es de 1/2 hp.

**Tabla 11. Costos generales de la planta**

Ítem	Descripción	P.T.
11	Membrana	600,00
22	Tanque	250,00
33	Filtros	550,00
44	Bomba	180,00
55	UV	150,00
66	Kits de instalación	200,00
77	Estructura	100,00
88	Adicionales de montaje	120,00
<b>Total</b>		<b>2150,00</b>

**Figura 12. Dimensiones del soporte de la planta**



## RESULTADOS

### Validación de la planta

Al proceder a la validación de la planta podemos establecer que realizado el proceso de purificación del agua mediante las siguientes etapas:

(Etapas 1): *Filtro de Sedimento de 5 micras.* - El agua atraviesa primero un filtro de sedimentos donde retiene partículas en suspensión hasta 5 micrones (arena, algas, lodo, polvo, etc.).

(Etapas 2): *Filtro Granular de carbón activado.* - Este remueve el 99% cloro, olor, contaminantes orgánicos y químicos que afectan el sabor y el olor del agua.

(Etapas 3): *Filtro de carbón.* - Este filtro está diseñado y aprobado por la NSF, para mejorar aún más el sabor del agua que proviene del tanque de almacenamiento.

(Etapas 4): *Filtro de carbón compuesto.* - Este filtro de carbón compuesto está diseñado para mejorar el sabor. Elimina las impurezas residuales y olores del tanque y proporciona un acondicionamiento más fino de agua pura.

(Etapas 5): *Membrana de Ósmosis Inversa.* - El agua llega al corazón del sistema, la membrana de ósmosis inversa (0,0001 micrón) eliminará el 99 % de las materias indeseables. Elimina los siguientes contaminantes del agua dura que puedan estar presentes en el agua: plomo, bario, cromo, mercurio, sodio, cadmio, flúor, nitrito, nitrato y selenio.

(Etapas 6): *Esterilización Ultravioleta del agua.* - Es ampliamente aceptable como una solución confiable, eficiente y el medio ambiente para la desinfección del agua. Esta lámpara UV utiliza la aplicación de radiador de UV con una longitud de onda de 254nm para causar la muerte inmediata de organismos y eliminar su capacidad de sobrevivir y reproducirse.

Con este proceso ya obtenemos la destrucción de un 99,99% DE BACTERIAS Y VIRUS.

### Análisis y rendimiento de la planta



PLANTA DE TRATAMIENTO  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

Procedencia: Universidad "LVT"

Dirección : Nuevos Horizontes

Fecha de Toma: 2014-09-11

Fecha de análisis: 2014-09-12

ANÁLISIS FÍSICOS	UNIDADES	NORMA INEN 1108	OSMOSIS INVERSA	POTABLE
Temperatura	°C		22.8	21.9
pH			7.28	7.33
Color	(Pt-Co)	15	0	0
Turbiedad	NTU	5	0.73	2.05
Conductividad	uS/cm		193.2	558
Sólidos totales disueltos mg/l			96.6	279
<b>Químicos</b>				
Alcalinidad total (CO <sub>3</sub> Ca)	mg/l		49	50
Dureza Total (CO <sub>3</sub> Ca)	mg/l		30	30
Calcio (Ca) 2+	mg/l		12	12.8
Cloruros (Cl) -	mg/l		19	25
Cloro Residual	mg/l	0,3 – 1,5	0	0
Fluoruros (F)-	mg/l		-	-
Amoniaco (NH <sub>3</sub> ) 1+	mg/l		1.66	1.50
Nitritos, (NO <sub>2</sub> )-1	mg/l	3.0	-	-
Nitratos, (NO <sub>3</sub> )-1-	mg/l	50	-	-
Sulfatos (SO <sub>4</sub> -)	mg/l		21	29
Fosfatos (PO <sub>4</sub> -)	mg/l		0.04	0.04
Manganeso (Mn)2+	mg/l		0	0
Hierro Total (Fe+++)	mg/l		0.00	0.00
Cobre (Cu)2+	mg/l	2	0.05	0.09
Cromo (Cr)3+	mg/l	0.05	0.01	0.03
Aluminio Residual (Al)3+	mg/l		0.012	0.015
<b>Microbiológicos</b>				
Numero de colonias	ufc		0	0
Coliformes totales	NMP		0	0
Escherichia coli	NMP	< 1,1	Negativo	Negativo

OBSERVACIONES:  
ESTAN APTAS PARA EL  
CONSUMO HUMANO

MARIUXI QUIÑÓNEZ  
LABORATORISTA



El rendimiento de la Planta de Osmosis Inversa tiene las propiedades de eliminar más sólidos disueltos, turbiedad, cloro, etc. por lo que podemos decir que cumplió a cabalidad con los parámetros dados por las Normas NTE INEN 1108.

### **Plan de mantenimiento**

#### **Sustitución y cambio de filtro**

Prefiltro de sedimentos 6 meses - 1 año

Prefiltro de carbón 6 meses – 1 año

Pos filtro de carbono 6 meses – 1 año

Membrana R.O 2-10 años

NOTA: La duración de los filtros y membrana depende de la calidad del agua suministrada a la R.O. sistema

#### **Limpieza de las membranas**

Existen unas cuantas técnicas de limpieza para la eliminación de la suciedad de membrana. Estas técnicas son: lavado por chorro delantero, lavado por chorro trasero, lavado por chorro de aire y limpieza química.

- Lavado por chorro delantero
- Lavado por chorro trasero
- Lavado por chorro de aire
- Limpieza química

#### **Factores del agua de alimentación que afectan a la membrana Semipermeable**

Entre los factores más importantes que afectan a las membranas semipermeables utilizadas en los tratamientos de purificación de agua tenemos los que se enuncian a continuación:

- Presión
- pH
- Índice de saturación de Langlier (ISL)
- Cloro libre (TFC) y bacterias
- Temperatura

#### **Parámetros para su correcta operación**

*Advertiendo:* las siguientes condiciones para ser alcanzado de suministro de agua de alimentación o se anulará la garantía.

Unidad debe estar conectado a una fuente de agua municipal o bien que se trata y sobre una base regular para asegurar que el agua bacteriológicamente segura.

*Temperaturas de funcionamiento:* Máximo 113 °f mínimo 33° °f

#### **Precaución**

No permita que la unidad se congele, serán destruidos si se congela

-Presión operacional

- Máximo 85 psi (5.95 kg/cm<sup>2</sup>)
- Mínimo 40 psi (2.95 kg/cm<sup>2</sup>)

Esta unidad de ósmosis inversa está diseñada para funcionar a la presión del agua en el rango de 40 a 80 psi a presión inferior a esto, la cantidad como será reducida. a mayor presión, puede dar como resultados graves, daños en el sistema, si la presión local del agua excede de 85 psi, un regulador de presión debe ser instalado, la reducción de la información de presión de agua del sistema

*Advertencia:* garantía anulada y manufactura asume ninguna responsabilidad de los daños a la unidad o a la propiedad si la presión es superior a 85 psi

- Turbiedad < 5NTU

- pH 4<sup>a</sup>11
- Dureza recomienda no exceder de 7 granos por galón o 120 ppm

*Recomendación:* si la dureza del agua es superior a 7 granos por galón o 120 ppm es posible que desee comprar un ablandador de agua para su hogar en contacto con su distribuidor local para los precios

- Total recomendada de sólidos disueltos (TDS) no exceda de 2000

### **Guía de solución de problemas para R.O. Génesis**

**Problema 1:** producción lenta / baja producción

**Causa:** 1). Baja presión de agua 2). Engarces en el tubo 3). Prefiltros obstruidos 4). Membrana sucia

**Solución:** 1). Asegurar min. 40 psi de presión de agua entrante. Línea de suministro RETAP 2). Revisar la tubería-enderezar o repare según sea necesario 3). Reemplazar prefiltros 4). Reemplazan prefiltros de membrana duran hasta 10-12 meses. Sin embargo, necesita prefiltro que cambiar con mayor frecuencia en áreas con una alta concentración de sólidos en el suministro de agua

**Problema 2:** agua en constante funcionamiento / unidad ganada apagará

**Causa:** 1). baja presión de agua 2). la presión del agua higt 3). Engarzado en el tubo de suministro

**Solución:** 1). vea el # 1 arriba 2). Comprobar la presión del agua de entrada para asegurarse de que no sea superior a 85 psi. Puede ser necesaria una válvula de alivio de presión 3). Vea el # 1 arriba

**Problema 3:** el ruido de la llave o de drenaje

**Causa:** 1). grifo de espacio de aire 2). Ubicación de la silla de montar de drenaje 3). Restricción en el tubo de drenaje 4). La presión del agua sobre 85 psi

1). sonido inherente con el grifo espacio de aire 2). Vea el diagrama A y F para la ubicación correcta de la silla de montar de drenaje 3). Eliminar la obstrucción provocada en ocasiones por los residuos de la recogida de basuras o el lavaplatos 4). Requiere regulador de presión

### **Guía de solución de problemas para la génesis R.O.**

**Problema 4:** pequeña cantidad de agua en el tanque de almacenamiento

**Causa:** 1). sistema que se acaba de poner en marcha 2). Excesiva del aire en la vejiga del tanque 3). Baja presión de agua 4). La válvula de retención

**Solución:** 1). Tarda normalmente 6-10 horas para llenar el tanque. Baja presión y / o temperaturas pueden reducir drásticamente tasa de producción 2). La presión del tanque se establece en la fábrica y debe ser de 8-10 psi. Cuando está vacío. Añada aire si está por debajo de 8-10 psi. Purgar el aire si es superior a 10 psi. Comprobar la presión sólo cuando el tanque está vacío 3). Vea el # 1 arriba 4). No utilice agua o mejor dicho de la R.O. unidad durante 24 horas, a continuación, compruebe el flujo de agua hacia el drenaje. Si todavía drenaje, consulte a su representante

**Problema 5:** carcasas de fuga / filtro de fugas

**Causas:** 1). falta la junta o-ring 2). Accesorios no aprietan 3). Juntas o-ring de la ranura

**Solución:** 1). póngase en contacto con su distribuidor local 2). Apriete las conexiones cuanto sea necesario 3). Comprobar el ajuste apropiado de las juntas o-rings lubricar

**Problema 6:** agua sabe o huele raro

**Causa:** 1). membrana sucia 2). Prefiltros obstruidos

**Solución:** 1). agua de ensayo. Reemplazar la membrana 2). Reemplazar prefiltros y se lavan en vivienda

**Problema 7:** el agua se filtra característica espacio de aire

**Causa:** 1). engarzado en la línea de drenaje 2). Restricción en la línea de drenaje 3). Tubo de drenaje obstruido

**Solución:** 1). revisar todos los tubos 2). Enderezar todas las líneas de drenaje. Eliminar la obstrucción. Cortar cualquier exceso de tubo. Causado de lavaplatos o recogida de basuras. Desconecte la línea de negro en el desagüe. Limpiar la línea de negro con un alambre. A continuación, volver a corregir el soplado de aire a través de la línea no será siempre la obstrucción.

## CONCLUSIONES

El método de Osmosis inversa es uno de los métodos más efectivos en la purificación de agua, de bajo costo y práctico de instalar y mantener, por lo que se recomienda su utilización para obtener un mejor resultado de agua de acuerdo a las Normas establecidas. Al darnos cuenta en los cálculos, las pérdidas de presión son mínimas, pero se puede optimizar, es decir que no haya pérdidas mayores utilizando tuberías con mayor diámetro. En el caso de la membrana se recomienda aumentar su capacidad de porosidad para tener un mayor Caudal.

La información analizada para el desarrollo de este tema es abundante, existiendo más de 35 métodos de purificación de agua, habiendo seleccionado el método de purificación por osmosis inversa por el bajo costo de tratamiento de agua y mantenimiento del equipo. Se realizó una estructura cumpliendo las especificaciones del fabricante, y se calculó las pérdidas de energía en los elementos del sistema.

Se compararon los resultados de los análisis físico químicos y microbiológicos entre el tratamiento de osmosis inversa y el agua potable obteniendo rangos más cercanos a los de las Normas NTE INEN 1108 con agua 99.9 % más pura.

## REFERENCIAS (APA)

- American Water Works Association, 1990. Water Quality and Treatment. Cuarta edición, ed. McGraw-Hill. USA. Pp. 709-745, 1113-1150.
- Askeland, D. "Materiales De Ingeniería Y Sus Aplicaciones". Editorial Internacional Thompson, 1998. Tercera Edición.
- Avallone A. Eugene & Baumeister Theodore; Manual Del Ingeniero Mecánico; MARKS; 3ra. Edición; Editorial McGraw-Hill; México.
- Avallone A. Eugene & Baumeister T. "Manual del Ingeniero Mecánico" "MARKS". 9na. Ed. Editorial Mc Graw Hill.
- Fariñas, M (1999). Osmosis Inversa, fundamentos, tecnología y aplicación edMc Graw hill, 1999
- George T. Austin. Manual de procesos y tratamiento del agua. Mac Graw-hill México . 1989
- Juinall C. ROBERT; Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica; 1ra. Edición; Editorial Limusa, S.A. de C. V; México.
- Kirk Raymond, OTHMER Donald. 1961. Enciclopedia de Tecnología Química Vol. 3. pp.67-77, 289-307. USA.
- Lanz, K. (1997). El libro del agua ed. Debate, S.A.
- Medina, J.A. (2009). Desalación de aguas, salobres y de mar. Osmosis inversa. Ed. Mundiprensa.
- Miquel Sanchís, J. (2022). Diseño de una planta de producción de agua ultrapura para la industria farmacéutica mediante un proceso híbrido de osmosis inversa e intercambio iónico con una capacidad de 240 m<sup>3</sup>/día.
- Moreno Benavides, J. A. (2012). Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa dober osmotech de colombia Ltda (Bachelor's thesis, Ingeniería Biomédica).
- Pretreatment of Industrial Wastes. 1994. Manual of practice, Water Environment Federation, USA. pp.110 -112, 181.
- Robert A. Meyers. Hand of chemicals production processes. MacGraw – Hill book company .N.Y . 1981
- Shigley E. Joseph & Mischke R. Charles; Diseño en Ingeniería Mecánica; 6ta. Edición; Editorial McGraw-Hill; México.
- Velásquez, R. O. R. (2019). Diseño de un prototipo de ósmosis inversa para tratamiento de aguas residuales en la industria textil de Cúcuta. *Interfaces*, 2(2).