



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

“PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA
INSTALAR UNA PLANTA DE PRODUCCION DE
AGUA POTABLE POR OSMOSIS INVERSA A
PARTIR DE AGUA DE MAR EN EL DISTRITO DE
PIMENTEL”

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bachiller: CUBAS LLATAS REGULO SEGUNDO
Bachiller: DIAZ PEREZ ZULUETA LYNNO FRANCO

ASESOR

Ing. MSc. HUANGAL SCHEINER SEBASTIAN

Lambayeque – Perú

2014



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA
INSTALAR UNA PLANTA DE PRODUCCION DE
AGUA POTABLE POR OSMOSIS INVERSA A PARTIR
DE AGUA DE MAR EN EL DISTRITO DE PIMENTEL”**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR:

Bachiller: CUBAS LLATAS REGULO SEGUNDO

Bachiller: DIAZ PEREZ ZULUETA LYNNO FRANCO

Aprobado por:

**Ing. MSc. Rubén Sachun García
PRESIDENTE**

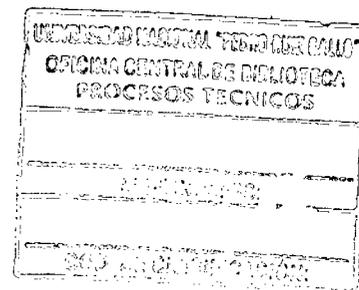
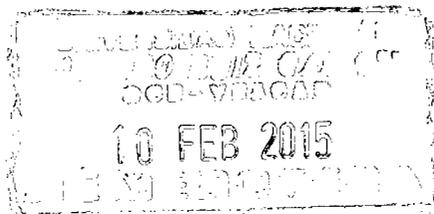
**Ing. MSc. Juan Carlos Díaz Visitación
SECRETARIO**

**Ing. MSc. Jaime Lucho Cieza Sánchez
VOCAL**

**Ing. MSc. Sebastian Huangal Scheineder
ASESOR**

LAMBAYEQUE – PERÚ

2014



INDICE

Caratula

Dedicatoria

Agradecimiento

I. Resumen	6
II. Introducción	7
III. ESTUDIO DE MERCADO	
3.1 Aspectos Generales del Bien	9
3.2. Usos de Beneficios del Agua Potable	12
3.3. Materia Prima – Agua de Mar	13
3.4. Estudio de Mercado	15
3.5. Tamaño de la Planta	20
3.6. Ubicación de Planta	20
IV. INGENIERIA DE PROYECTO	
4.1. Proceso para la obtención de agua potable a partir de agua de mar	23
4.2. Parámetros de Funcionamiento de Osmosis Inversa	39
4.3. Descripción Detallada del Proceso	49
4.4. Diagrama de Flujo Balance de Masa y Energía	58
4.5. Descripción de los Equipos y Sistemas	61
4.6. Distribución de la Planta de Osmosis Inversa	64
4.7. Estudio del Impacto Ambiental	65
V. ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO	66
5.1. Estimación de Inversión Total	66
5.2. Costo Total de Fabricación	77
5.3. Estado de Pérdidas y Ganancias	78
5.4. Análisis Económico	79
VI. CONCLUSIONES	80
VII. RECOMENDACIONES	81
VIII. BIBLIOGRAFIA	82
IX. ANEXOS	84

P

DEDICATORIA

A Dios por su infinita bondad, mis padres Regulo Cubas D. y María Llantas S. inculcaron valores, a mis hermanos, a mi esposa Milagros Tello Llontop por su apoyo constante en esta lucha de superación, a mi pequeña Hija Xiomara Cubas Tello.

Regulo Segundo

A mis padres Daniel Díaz y Julia Zulueta que inculcaron valores y a mis hermanos Oscar Díaz, Eusebio Díaz y Roque Díaz por su apoyo constante en la vida universitaria y ámbito laboral.

Lynno Franco

AGRADECIMIENTO



La presente Tesis es un esfuerzo en la cual directa o indirectamente, participaron varias personas; nuestra, Profesores, Asesor, amigos quienes de una u otra forma nos apoyaron leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndonos paciencia, dándonos ánimo, acompañándonos en los momentos del trabajo.

Agradecemos a nuestro Asesor Ing. MSc. Huangal Scheineder Sebastian por su paciencia y por la dirección de este trabajo en el proceso de desarrollo de investigación.

Infinitas gracias a nuestros compañeros que nos permitieron compartir momentos de aprendizaje y de fraternidad, momentos inolvidables durante estos años.

A nuestra familia que durante todo este tiempo nos acompañaron con su apoyo y paciencia en esta aventura de la Carrera Profesional de Ingeniera Química.

Los autores.

RESUMEN



Se realizó el estudio a nivel de pre-factibilidad de la instalación de una planta de producción de agua potable a partir de agua de mar para ser ubicada en el distrito de Pimentel, Chiclayo.

En la primera parte del estudio (Capítulo III) se realizó el estudio de mercado para lo cual se evaluó las condiciones en que se encontraría para el 2014 el distrito de Pimentel y lugares aledaños. Se considera que habrá falta de agua potable por falta de abastecimiento de agua cruda proveniente de la sierra y de pozos en la costa debido al cambio climático. En base a un consumo de 120 litros por persona por día, y considerando que se mezclará 50% de agua potable de las plantas de tratamiento de Chiclayo y 50% de la planta de osmosis inversa de Pimentel, la planta tendrá una capacidad de 10000 m³/día.

En el Capítulo IV se realizó el estudio de Ingeniería del Proyecto. Se evaluaron las condiciones tecnológicas de producción de agua potable a partir de agua de mar por osmosis inversa. Se realizó el balance de masa, lo cual nos indica los insumos que se van a utilizar para un funcionamiento adecuado de la futura planta. Se presenta un diagrama de flujo y un plano de distribución de la planta. Finalmente se hace un listado de los principales equipos que se necesitaran para operar la planta.

Finalmente en el Capítulo V se realizó el estudio Económico-Financiero. Se estableció que la inversión total del proyecto será de **6 358 662** dólares. El costo de producción será de 1.5594 dólares el metro cubico. A precio de 2.5 dolares por metro cubico se obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión de 31.61%, un periodo de recuperación del dinero de 1.62 años.

Se concluye finalmente que el proyecto es factible desde el punto de vista de mercado, técnico y económicamente, por lo que se recomienda su instalación.

INTRODUCCION

Es indudable que está en curso un proceso de calentamiento de la atmósfera y de los océanos. Durante el Siglo pasado la temperatura promedio global se ha incrementado en 0.75°C y se proyecta para el Siglo XXI un aumento entre 1.8°C a 4.0°C .

Efectivamente, la variación de la temperatura y la alteración en la intensidad y estacionalidad de las precipitaciones, cambian la composición y la dinámica de los ecosistemas, afectan la biodiversidad territorial y el ciclo de crecimiento de las plantas, modifican la biomasa marina, alteran la oferta de agua para la agricultura y la generación eléctrica, **aumenta la incertidumbre del abastecimiento del agua potable para el creciente consumo humano e industrial** y agudizan la vulnerabilidad de la salud pública y el saneamiento de las ciudades, particularmente de las poblaciones marginales de las urbes. El calentamiento global también intensificará las catástrofes naturales, tales como los huracanes, las inundaciones, los huaycos, las sequías, las heladas y friajes, entre otros fenómenos naturales (Fundación M.J. Bustamante de la Fuente, 2010).

Frente a la problemática de la falta de fuentes de agua potable por el cambio climático surge una posible solución, que desde hace décadas han adoptado países como los Emiratos Árabes Unidos, Argelia, España, Australia y Chile, es la implementación de plantas desalinizadoras, a través de las cuales se transforma el agua de mar en agua potable y que, aunque con algunas limitaciones, pueden paliar de manera rápida las necesidades de cualquier país que lo requiera.

De acuerdo a informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1,800 millones de personas habitarán en países o regiones con escasez absoluta de agua, y dos tercios de la población mundial podrían vivir en condiciones de tensión hídrica para el año 2025. Ante estas proyecciones países y entidades privadas se encuentran investigando tecnologías para la obtención de agua potable a partir de agua de mar mediante un proceso llamado desalinización, con el que se consigue reducir la presencia de sólidos disueltos en el agua de mar, entre los que se encuentra la sal. Las sales disueltas en

los mares del mundo fluctúan entre 25,000 partes por millón (ppm) y 45,000 ppm; cifras que se reducen a menos de 1,000 ppm mediante la desalinización (Tecnología-Proyecta, 2012).

Actualmente el país cuenta con algunas plantas desalinizadoras de menor envergadura para el consumo humano, proyectos agrícolas y hasta para la actividad minera. Este es el caso de la Minera Milpo, propietaria de una planta de ósmosis inversa implementada en el 2007 en la playa Jahuai, provincia de Chincha, en la región Ica. Puede procesar 90 litros por segundo (l/s), a un costo de US\$ 2.4/m³.

Es importante resaltar el comportamiento poblacional del distrito de Pimentel que ha triplicado su población, pasando de tener 10,648 habitantes (1981) a 34,320 (2009) y podría alcanzar al año 2024 los 49,129 habitantes si mantiene el mismo ritmo de crecimiento actual. Según otros especialistas la población para el 2024 superaría los 100000 habitantes por el crecimiento urbanístico del distrito en especial a los lados de la carretera Pimentel-Chiclayo, donde además de diversas urbanizaciones en creación se encuentran colegios y universidades de gran densidad poblacional. Esta situación obligara a tener un abastecimiento de agua potable para satisfacer a toda esa población proyectada (INICAM, 2013).

Teniendo disponibilidad de agua de mar, un mercado consumidor de agua potable, tecnología de osmosis inversa ampliamente conocida, proponemos realizar este proyecto de pre-factibilidad para instalar una planta de agua potable a partir de agua de mar empleando osmosis inversa en el distrito de Pimentel. No obstante, la planta más grande del país es de propiedad de la mina de fosfatos Bayóvar (Piura) que normalmente produce 204.3 m³/h de agua desalinizada. Otro proyecto minero que prevé el uso de agua de mar en sus procesos es el de Tía María, en Arequipa. Hasta el momento existen 17 empresas interesadas en la construcción de esta planta. Paralelamente existen plantas desalinizadoras para fines agrícolas (Unitek, 2013)

La producción de agua potable a partir de agua de mar en el distrito de Pimentel pretende satisfacer la demanda de algunos distritos aledaños (Santa Rosa, Eten, San José) y algunas zonas urbanas de Chiclayo cercanas urbanísticamente a Pimentel.

III. ESTUDIO DE MERCADO

3.1 ASPECTOS GENERALES DEL BIEN

El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental, en este contexto era necesario actualizar el Reglamento de los requisitos Oficiales Físicos, Químicos y Bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables, que por su antigüedad (1946), se hacía inaplicable; es entonces que en el año 2000, la Dirección General de Salud Ambiental, asume la tarea de elaborar el "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano", tarea que el 26 de setiembre del 2010, a través del D.S. N° 031-2010-SA, se vio felizmente culminada (MINSa, 2011).

Según el D.S. N° 031-2010-SA, en el Artículo 59 define al agua potable como a toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Estos requisitos se muestran en las siguientes Tablas.

Tabla 3.1. Límites máximos permisibles de parámetros Microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL a 35°C	500
Huevos y larvas de Helminetos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
Virus	UFC / mL	0
Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC: Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = 1,8/100 ml

Tabla 3.2. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadera

UNT = unidad nefelométrica de turbiedad

Tabla 3.3. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos

Parámetros inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F ⁻ L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

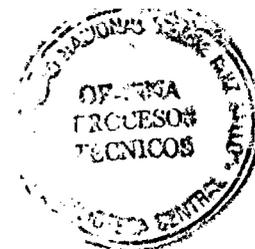


Tabla 3.4. Límites máximos permisibles de parámetros químicos orgánicos

Parámetros orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales	mg L ⁻¹	1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mg L ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mg L ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mg L ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mg L ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mg L ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mg L ⁻¹	0,001
10. Endrin	mg L ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mg L ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mg L ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mg L ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mg L ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mg L ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mg L ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mg L ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mg L ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mg L ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04
23. Monocloramina	mg L ⁻¹	3
24. Tricloroetano	mg L ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mg L ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mg L ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mg L ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroetano	mg L ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroetano	mg L ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mg L ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mg L ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mg L ⁻¹	0,0006
35. Ácido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mg L ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mg L ⁻¹	0,7
38. Xileno	mg L ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mg L ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mg L ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mg L ⁻¹	0,0006
43. 2,4 -DB	mg L ⁻¹	0,09

3.2 USOS Y BENEFICIOS DEL AGUA POTABLE

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de redes de agua potable para abastecer a los usuarios domésticos, así como a las industrias y servicios conectados a estas redes.

El uso doméstico incluye para beber, para lavar los platos, para tomar una ducha, para tirar de la cisterna en el servicio, para cocinar y para muchos otros propósitos.

Como bebida se recomienda entre 2 a 3 litros por día por persona. Para satisfacer todas las necesidades de agua potable por persona se considera 120 litros por día (MINAG, 2014).

3.2.1. Beneficios de beber agua

- Se pierde peso: el agua es una herramienta fundamental para perder peso, sobre todo porque sustituye al alcohol, refrescos y zumos envasados, que contienen mucho azúcar y calorías. Además, quita o reduce el hambre, ya que muchas veces crees que tienes hambre y en realidad, es que tienes sed. El agua no tiene grasas, ni calorías, ni carbohidratos, ni azúcar. Si bebes con regularidad estás favoreciendo tu dieta para perder peso.
- Aumenta la energía: si no se bebe suficiente agua, se está deshidratado y la deshidratación quita energía y provoca cansancio. Si una persona esta sedienta, ya está deshidratado y esto significa que se sentirá agotado, débil, mareado y con algún otro síntoma de falta de hidratación. Sobre todo si uno está en el trabajo, no olvidar ir bebiendo.
- Salud para el corazón: si se bebe agua regularmente y en cantidad suficiente se estará reduciendo el riesgo de sufrir un ataque al corazón. Para las personas que tengan problemas de este tipo, el beber agua será un método de prevención fácil y accesible.

- Menos dolores de cabeza: otro síntoma de deshidratación son los dolores de cabeza. Muchas veces, cuando duele la cabeza es probable que sea porque no se ha bebido suficiente agua, aunque por supuesto, hay muchas otras causas para el dolor de cabeza. Siempre consulta con tu médico.

- Mejora la forma física: la deshidratación puede reducir la capacidad para hacer ejercicio. Beber agua, antes, durante y después del ejercicio y mejorará la actividad deportiva.

- Mejora la digestión y el estreñimiento: el sistema digestivo necesita una buena cantidad de agua para hacer la digestión de forma adecuada. Con frecuencia, beber agua soluciona los problemas de acidez estomacal y el agua junto con la fibra puede curar el estreñimiento, que con frecuencia, también es consecuencia de la deshidratación. En profesiones sedentarias, éste es un punto a tener en cuenta.

- Reduce el riesgo de cáncer: se ha detectado, que en relación al sistema digestivo, beber la cantidad de agua adecuada puede reducir el riesgo de cáncer de colon en un 45%, el de vejiga en un 50% y posiblemente también el de pecho.

- Proporciona una piel sana y joven: en tan solo una semana se notará que la piel está más radiante y tersa.

- Limpia el organismo: el agua elimina las toxinas y los productos de deshecho de nuestro organismo.

3.3 MATERIA PRIMA – AGUA DE MAR

La materia prima principal será el agua de mar la cual será desalinizada por osmosis inversa. El agua que se obtiene es agua desmineralizada la cual tendrá que ser mezclada con agua de pozo para cumplir los requisitos de un agua potable.

3.3.1 Agua de mar

Siendo el agua de mar la materia prima principal, en la Tabla 3.5 se presenta el análisis mineral del agua de mar bruta y la proyección de calidad del agua después de la osmosis inversa.

Tabla 3.5 Composición del agua de mar bruta y después del tratamiento con osmosis inversa

Ítem	Unidad	Agua de mar bruta		Agua producto	
Temperatura	°C	23.0		23.0	
pH		8.1		6.31	
TDS (solidos totales disueltos)	mg/L	40310		304.76	
Dureza (como CaCO ₃)	mg/L	6341.5		11.9	
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	127		3	
		ppm	eq/l	ppm	eq/l
Amoniaco	mg/L	0	0.0	0.00	
Potasio	mg/L	498.8	12.8	4.86	
Sodio	mg/L	12719.7	553.3	107.37	
Magnesio	mg/L	1249.9	102.9	2.36	
Calcio	mg/L	473.2	23.6	0.88	
Estroncio	µg/L	12.04	0.3	0.03	
Bario	µg/L	0.02	0.0	0.00	
Total cationes	meq/L		692.8		5.033
Carbonato	mg/L		0.000	0.00	0.000
Bicarbonato	mg/L	148	2.426	1.77	0.029
Nitrato como (NO ₃)	mg/L	0.63	0.0	0.05	0.001
Cloruros	mg/L	22421.81	632.4	175.86	4.961
Fluoruros	mg/L	1.3	0.1	0.01	0.001
Sulfato	mg/L	2783	57.9	2.12	0.044
Silice	mg/L	1.34		0.01	
boro	mg/L	5.66	0.1047	1.53	0.028
Total aniones	meq/L		692.9		5.035
Dióxido de carbono	mg/L			0.43	
TDS check	mg/L	40315		296.85	

Fuente: Aqua Advise, 2012.

Respecto a la abundancia de agua de mar los estudios indican que la superficie de la Tierra está cubierta de agua en un 70% y tan sólo el 30% es tierra firme. Por lo tanto la Tierra es un planeta apenas mojado pero en su mayoría de agua salda, 3l

97.5% del agua es agua de los mares, de los océanos. El restante 2.5 % es agua dulce, pero casi toda esta congelada en los polos, en los glaciares. El agua congelada representa el 69.7% del agua dulce, el agua subterránea representa el 30% y en los ríos y en los lagos solamente encontramos el 0. 3% de agua dulce (Sosa Henríquez P., 2006).

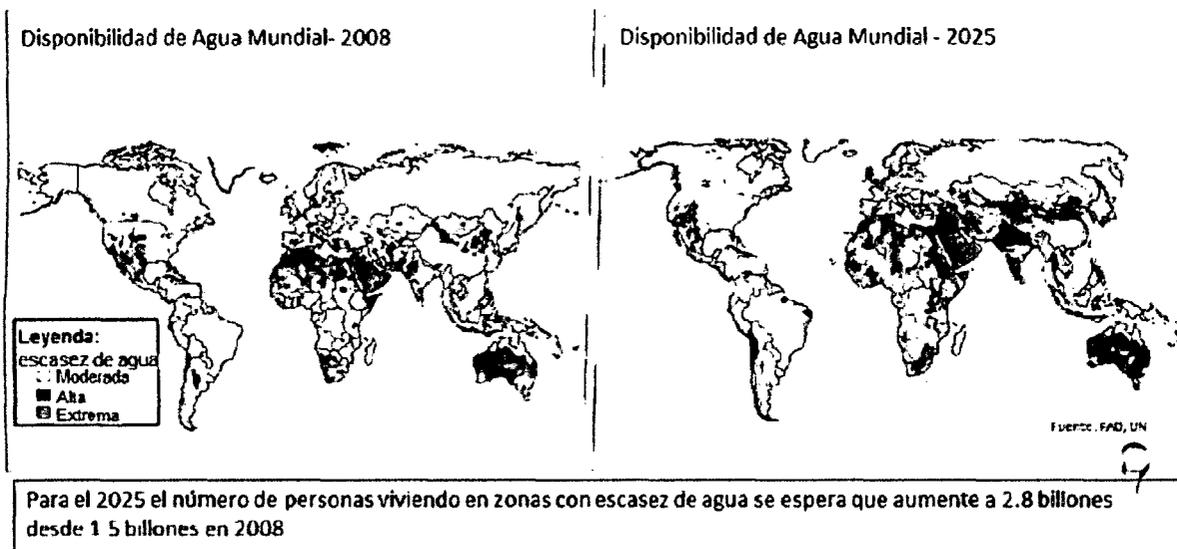
Por lo tanto el agua de mar se considera inagotable y de costo cero. Pero hay que tener en cuenta el costo de bombeo desde el mar hasta la planta de tratamiento, lo que se hará después en el estudio de ingeniería.

3.4. ESTUDIO DE MERCADO

Para determinar el futuro consumo de agua potable se considera una situación como la que se proyecta a nivel mundial. A este nivel en los años 1990 se estimó la existencia 12500 a 14000 millones de metros cúbicos de agua por año para uso humano, lo cual representó unos 9000 metros cúbicos por persona al año. Se proyecta que para el año 2025, la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5100 metros cúbicos por persona al año al sumarse unos 2000 millones de habitantes a la población del mundo; es decir que se dispondrá cerca de un 50% menos de agua del que se tiene ahora (Latice, 2009).

Algo similar se presenta en nuestro país donde el cambio climático hace prever que habrá menos disponibilidad de agua proveniente de los glaciares en la sierra que vienen a la costa. Además el crecimiento poblacional es notorio en el distrito de Pimentel, lo que se refleja por la construcción de viviendas a los dos costados de la carretera Chiclayo – Pimentel.

En la Figura 3.1 se muestra la disponibilidad de agua comparada de 2008 y 2025. Se nota en el mapa del Perú que la costa peruana tendrá extrema escasez de agua. En la situación tecnológica actual, la respuesta al problema de la escasez de agua en lugares cercanos a la costa es real y sencilla: la desalación del agua de mar. Esta fuente inagotable puede satisfacer cualquier demanda teórica y, por consiguiente, ninguna zona aledaña al mar puede considerarse hoy en día escasa en agua, ya que es posible satisfacer la demanda total de agua requerida en armonía con el medio ambiente, tanto terrestre como marino.



Fuente: Aqua Advise, 2012.

Figura 3.1. Disponibilidad de agua mundial 2008 -2005

3.4.1 Situación actual de aprovisionamiento de agua potable de Chiclayo

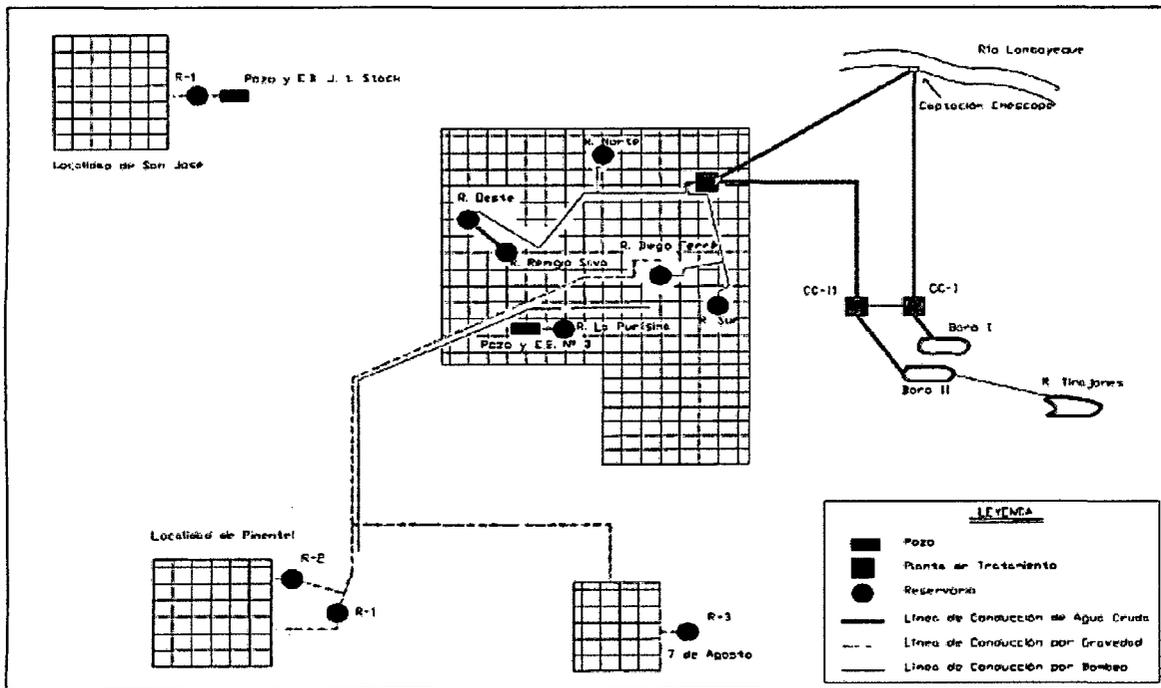
El abastecimiento de agua potable a las localidades de Chiclayo, Pimentel y San José se realiza a través de dos sistemas que se muestran en la Figura 3.2. Los sistemas son:

- Sistema Chiclayo – Pimentel
- Sistema San José

A su vez el sistema Chiclayo – Pimentel está compuesto por tres sub sistemas, los cuales son:

- Sub sistema Chiclayo – Pimentel: Infraestructura sanitaria común para Chiclayo y Pimentel (A1).
- Sub sistema Chiclayo: Infraestructura sanitaria exclusiva de Chiclayo (A2).
- Sub sistema Pimentel: Infraestructura sanitaria exclusiva de Pimentel (A3).

Es notorio que en Pimentel existen dos reservorios para distribución de agua para Pimentel y para Chiclayo. Esto facilitaría la instalación cercana de la planta de osmosis inversa en Pimentel, para seguir usando las mismas líneas de abastecimiento.



Fuente: Paico Soplapuco O., 2013.

Figura 3.2. Esquema de abastecimiento de agua potable a las localidades de Chiclayo, Pimentel y San José.

3.4.2. Demanda actual de agua potable de Pimentel y lugares aledaños

Según estudio de CPI (compañía peruana de estudios de mercado y opinión pública s.a.c) para el año 2012 el distrito de Pimentel, está dentro de las 60 principales ciudades del Perú, y a esa fecha la población era de 34400 habitantes. Según los especialistas este valor poblacional se podría triplicar en pocos años debido al boom inmobiliario que se está efectuando en el distrito a causa del crecimiento oeste de la ciudad de Chiclayo (CPI, 2012).

Pimentel es un distrito singular; dista el balneario de la plaza de armas del centro de Chiclayo 12 Km, sin embargo en la carretera se encuentran diversas urbanizaciones y centros poblados, colegios y universidades de la ciudad de Chiclayo, por lo tanto es una conurbación real con Chiclayo, el distrito crece y es el que más va a crecer urbanísticamente. Entre las principales poblaciones del distrito de Pimentel tenemos:

:

- Urbanización "Las Brisas" (continuo urbano de Chiclayo).
- Urbanización "La Plata" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "La Pradera" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas I etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas II etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas III etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas IV etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas V etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "Las Dunas VI etapa" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Residencial "Alameda Country Club" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "La Encalada" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "7 de agosto" (exclusiva urbanización)
- Urbanización "San Agustín" (continuo urbano de Chiclayo).
- Urbanización "Los Sauces" (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "industrial" de Chiclayo (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urbanización "El Oro" (continuo Urbano de Chiclayo).
- Urbanización "Las Garzas" (continuo Urbano de Chiclayo).
- P.J. "Villa Santuario De La Paz" (continuo Urbano de Chiclayo).
- Complejo Habitacional Victoria Viuda de Dall'orso (continuo urbano de Chiclayo).
- Complejo Habitacional Urbanización Fermín Ávila Morón (continuo urbano de Chiclayo)
- Cerropón (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo). (Este pueblo joven pertenece al distrito de Chiclayo al igual que la urbanización Las Brisas).
- La Garita (continuo urbano de la ciudad de Chiclayo).
- Urb. Las Villas de Chiclayo

Esto es sin contar con nuevas urbanizaciones que se están construyendo como “Las Torres de Pimentel”, “Las Torres de Pimentel II”, “Los Ficus I”, “Los Ficus II”, “Los Ficus III”, “Villas de la Ensenada de Chiclayo”, “La Ensenada de Chiclayo”, “Las Villas de Chiclayo”, y muchas otras más.

Según estudios el consumo de agua por persona por día varía entre 120 a 150 litros. El mayor consumo está en el lavado personal, en los servicios y la limpieza de la casa. Para este proyecto se considera un consumo de 120 litros por persona día.

Entonces considerando una población actual de 35000 habitantes, el consumo actual de agua es aproximadamente 4200 m³/día. Este valor solo es para el distrito de Pimentel.

Si consideramos que en Pimentel hay dos reservorios de agua, uno de los cuales abastece a distritos aledaños y a parte de la población de Chiclayo, entonces se estima que la demanda actual de agua potable es de 10000 m³/día.

3.4.3. Demanda proyectada de agua potable distrito de Pimentel

Para proyectar la demanda del distrito de Pimentel, se considera que hasta el año 2024 la población se triplicará debido al crecimiento urbanístico de este distrito, en especial en los costados de la carretera Chiclayo – Pimentel.

Para una población de 100000 habitantes la necesidad de agua potable será de 12000 m³/día, solo para el distrito de Pimentel.

Una vez más, considerando que Pimentel está ubicado estratégicamente para abastecer agua, como lo hace actualmente a distritos vecinos como Santa Rosa, San José, así como a lugares del propio Chiclayo se estima que para el 2024 la demanda será de 20000 m³/día.

3.4.4. Demanda insatisfecha proyectada

Teniendo en cuenta que a nivel mundial la oferta de agua dulce disminuirá notablemente, indicando en algunos estudios que esta oferta será 40 a 50% menos que la oferta actual (Ver Figura 3.1).

En este proyecto se asume que la oferta disminuirá en un 50% y por lo tanto habrá un déficit de 10000 m³/día, lo cual representa la demanda insatisfecha proyectada para el año 2024.

3.5. TAMAÑO DE LA PLANTA

Considerando el análisis anterior, se espera que para el 2024 el déficit de agua potable para Pimentel y lugares aledaños será de 10000 m³/día. Si la situación de abastecimiento de agua dulce de los ríos de la Sierra se agrava este valor podría ser mayor.

Para el tamaño de la planta se considera prudente y necesario tener una fuente alternativa que cubre este déficit. Por lo tanto el tamaño de la planta también será de 10000 m³/día de agua potable a partir de agua de mar por el proceso de osmosis inversa.

3.6 UBICACIÓN DE LA PLANTA

La planta estará ubicada en Pimentel, exactamente cerca a los dos reservorios de agua potable que tiene EPSEL. Existen tres razones principales:

- Su cercanía al mar
- La existencia actual de dos reservorios, uno para Pimentel y otro que distribuye a Chiclayo (ver Figura 3.2).
- El crecimiento incesante de Pimente, en especial a los costados de la carretera Chiclayo-Pimentel (Ver Figura 3.4).



Figura 3.3. Provincia de Chiclayo, distrito Pimentel

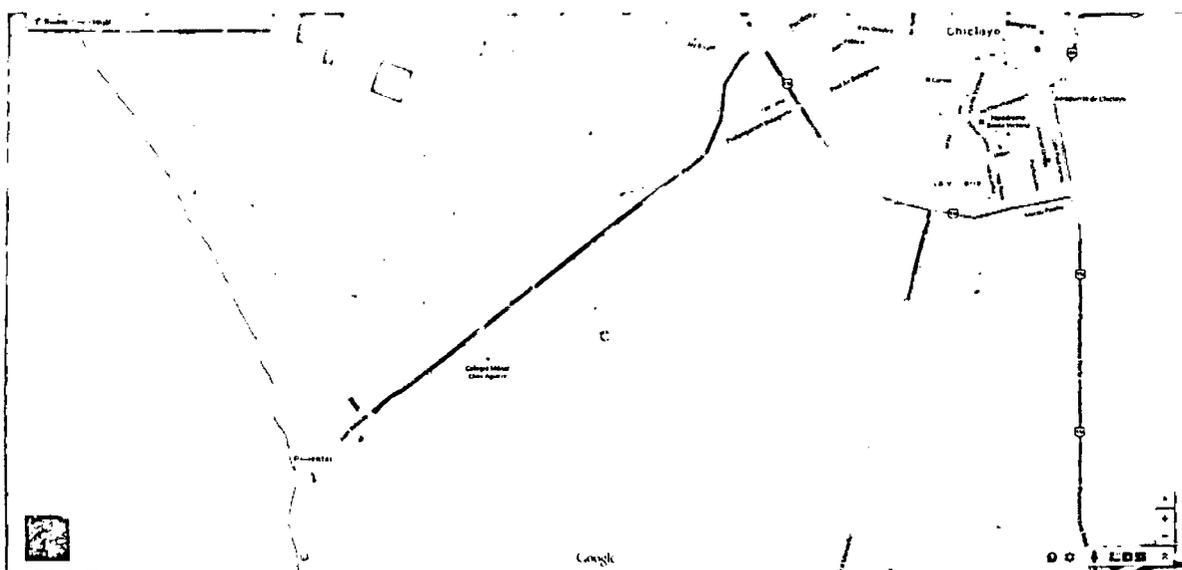


Figura 3.4. Carretera Pimentel-Chiclayo

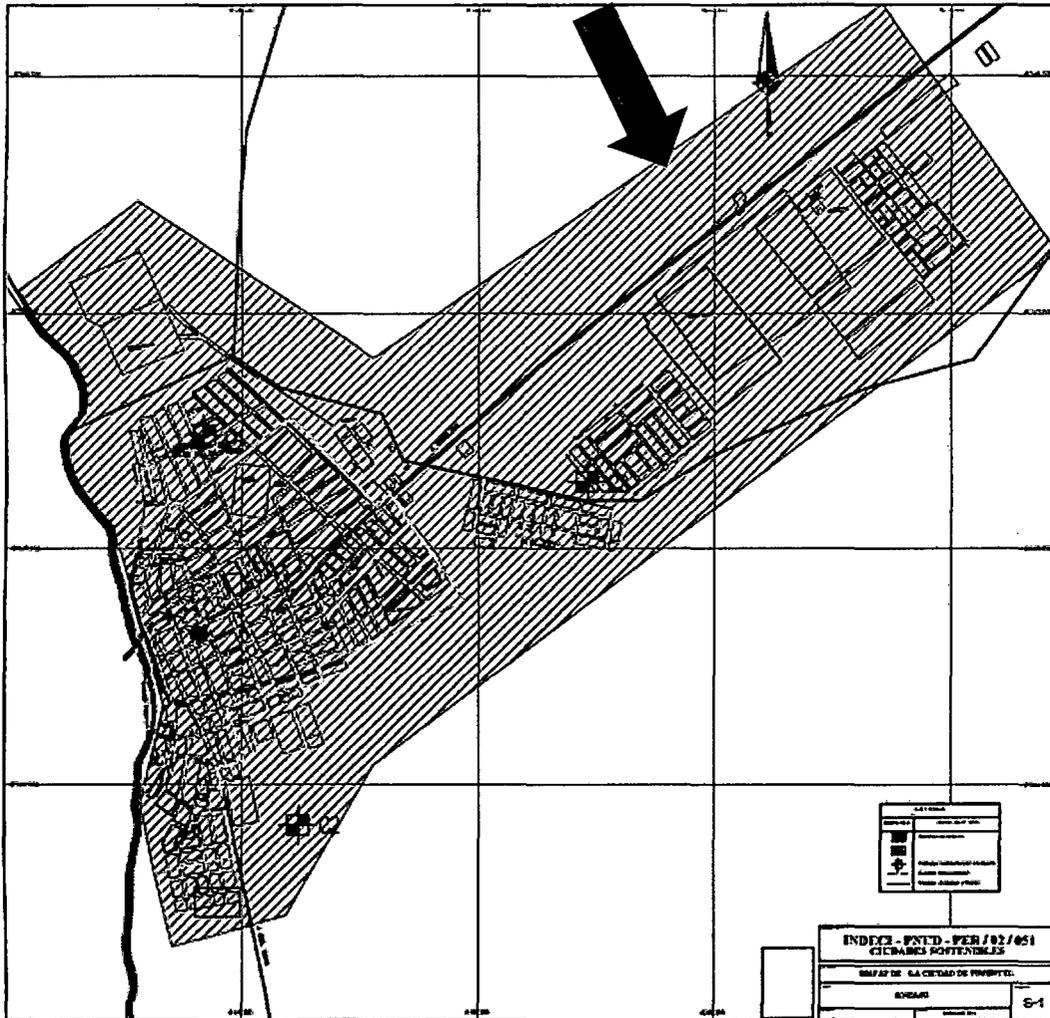


Figura 3.5. Ubicación detallada de la planta de agua potable por osmosis inversa de agua de mar.

4 INGENIERÍA DE PROYECTO

En esta sección se hace en primer lugar la selección del proceso para la obtención de agua potable a partir de agua de pozo. Después que se selecciona el proceso más conveniente se hace la descripción detallada del proceso y se elabora el diagrama de flujo y diagrama de bloques del proceso seleccionado. Se hace un análisis de los principales parámetros que influyen en la desmineralización del agua por el proceso seleccionado. Con el diagrama de bloques se hace el balance de masa y energía en base a la capacidad de la planta. Los datos del balance de masa sirven para diseñar y seleccionar los equipos principales y auxiliares del proceso con lo cual se hace una distribución de planta de la futura instalación.

4.1 PROCESOS PARA LA OBTENCION DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR

Considerando al agua de mar como un agua con alto contenido de sales los métodos de separación de las sales del agua o viceversa dependen de la forma como se separan o del tipo de energía utilizada para el proceso o del proceso físico de la desalación (Alawadhi, A.; 1999). En la Tabla 4.1 se muestra la clasificación de los métodos existentes.

4.1.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS EXISTENTES

- **Evaporación Instantánea Multietapa (MSF-Multistage Flash):** En este proceso el agua con contenido de sales o agua salina es introducida en una cámara a baja presión donde es calentada produciendo vapor mediante una evaporación súbita, que luego es condensada dando agua destilada. El agua residual que queda se introduce en otras cámaras con una presión más baja que la primera donde se repite el mismo proceso. Este proceso se repite durante una serie de etapas en las que se va disminuyendo la presión. En el esquema de este proceso aplicado al agua de mar que se muestra a continuación se distinguen tres secciones: la sección de rechazo de calor, la

sección de recuperación de calor y finalmente el recalentador (ECOAGUA Ingenieros SL, 2009).

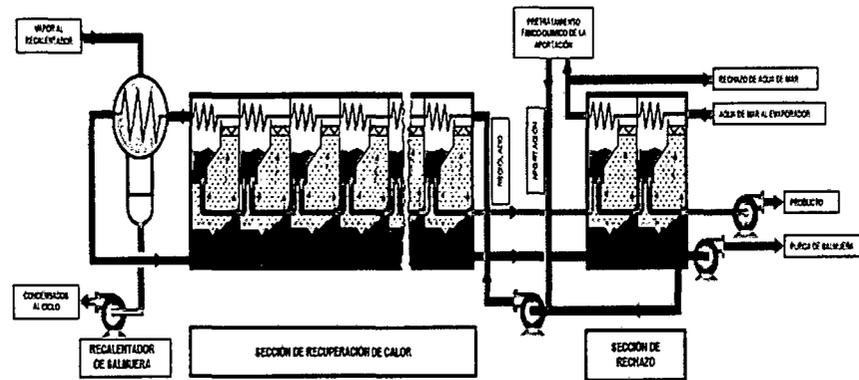


Figura 4.1. Evaporación instantánea multietapa (MSF)

SEPARACION	ENERGIA	PROCESO	METODO
AGUA DE SALES	TERMICA	EVAPORACION	DESTILACION SUBITA
			DESTILACION MULTIEFECTO
			TERMOCOMPRESION DE VAPOR
			DESTILACION SOLAR
	MECANICA	CRISTALIZACION	CONGELACION
			FORMACION DE HIDRATOS
			FILT. Y EVAPO.
ELECTRICA	FILTRACION	EVAPORACION	COMPR. MECA. DEL VAPOR
		FILTRACION	OSMOSIS INVERSA
SALES DE AGUA	ELECTRICA	FILTRACION SELECTIVA	ELECTRODIALISIS
	QUIMICA	INTERCAMBIO	INTERC. IONICO

Fuente: Valero A.; et al., 2001.

TABLA 4.1. Clasificación de los métodos de desalación más utilizados

- **Destilación Múltiple Efecto (MED):** La evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación que va en disminución. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. A continuación se muestra un esquema de funcionamiento (Al-Shammiri, 1999).

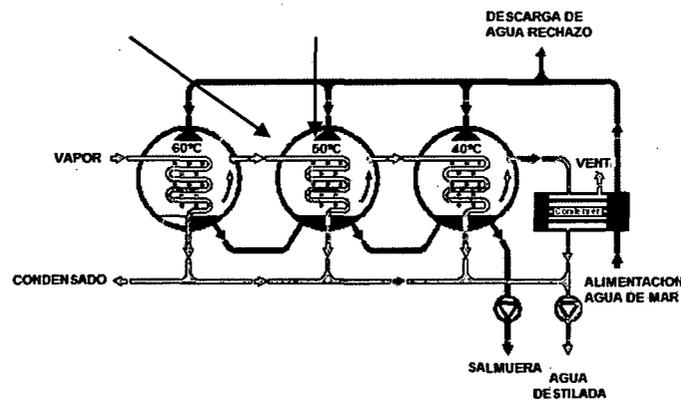


Figura 4.2. Esquema de Destilación Múltiple Efecto (MED)

- **Termocompresión de vapor:** la compresión térmica de vapor (TVC-Thermal Vapor Compression) obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos, que consumen vapor de media presión y se mezcla con vapor de muy baja presión de la última etapa y se aporta a la primera etapa, que es la única que consume energía en el proceso. El rendimiento de este tipo de plantas es similar a las de las plantas MED, sin embargo su capacidad desaladora puede ser mucho

mayor al permitirse una mayor adaptabilidad de toma de vapor de las plantas productoras del mismo. El esquema se muestra en la Figura 4.3. (Valero A.; et al., 2001).

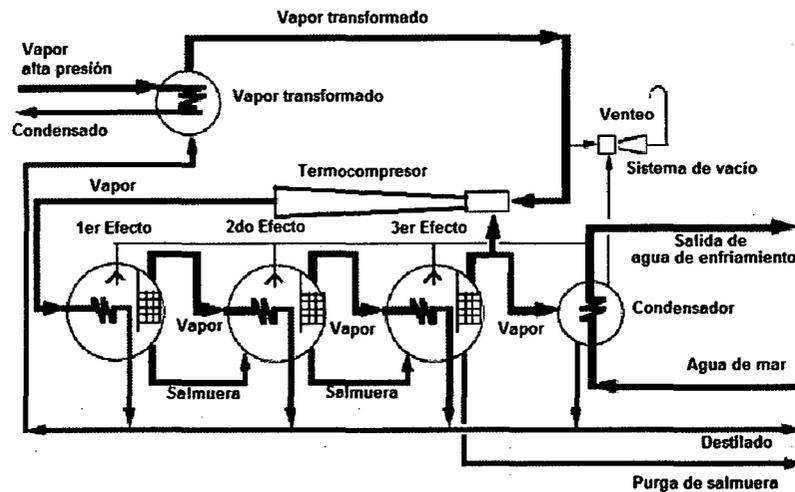


Figura 4.3. Destilación Múltiple Efecto con Termocompresión de Vapor (TVC)

- Destilación solar:** La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables (5 L/día.m²). El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera (García R. y Gómez C.; 2001).

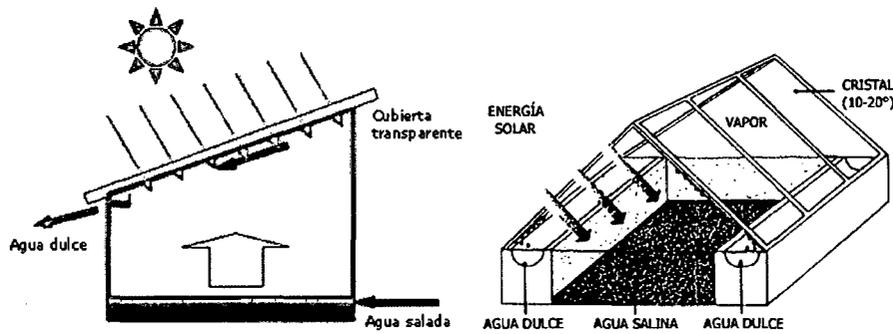


Figura 4.4. Esquemas de desalación por destilación solar

- Congelación:** Se congela el agua con sales suministrando la aparición de cristales de hielo puro para fundirlos, que se separan de la solución, mientras que el agua líquida se concentra en sales. Los cristales son separados y lavados con agua dulce. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío. La temperatura de trabajo típica de este tipo de proceso está en el rango comprendido entre -5°C (punto de congelación del agua del mar) y la temperatura ambiente. No es un proceso ampliamente difundido pero el interés de este tipo de proceso radica en que la energía requerida para congelar un Kg de agua es aproximadamente igual a la sexta parte de la que se necesita para evaporarla.

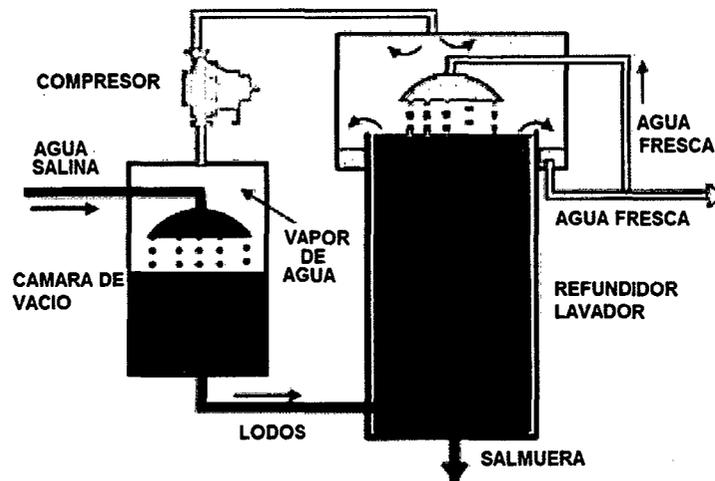


Figura 4.5. Obtención de agua fresca por congelación de agua salina

De acuerdo al esquema agua salina enfriada es pasada por un spray dentro de una cámara de vacío de cerca de 0.004 atmosferas. Algo del agua se separa como vapor, removiendo más calor del agua y causando que se forme hielo. El hielo flota sobre la salmuera y es lavada con agua fresca, el agua fresca y el agua fundida (la cual es menos densa que la salmuera) salen fuero del lavador-fundidor como se muestra en la figura anterior (URS Australia, 2002).

- **Formación de Hidratos:** Es otro método basado en el principio de la cristalización, que consiste en obtener mediante la adición de hidrocarburos a la solución salina unos hidratos complejos en forma cristalina, con una relación molécula de hidrocarburo/molécula de agua del orden de 1/18. Después que el hidrato ha sido formado y separado, la mezcla fluido de intercambio-hidrato será bombeada como un lodo a una cámara de separación que estará a una temperatura y presión adecuada para disociar el hidrato. Después de la disociación, la especia formadora de hidrato será disuelta en el fluido de intercambio de calor y será reciclado. Al igual que el

proceso de congelación, su rendimiento energético es mayor que los de destilación, pero conlleva una gran dificultad tecnológica a resolver en cuanto a la separación y el lavado de los cristales que impiden su aplicación industrial

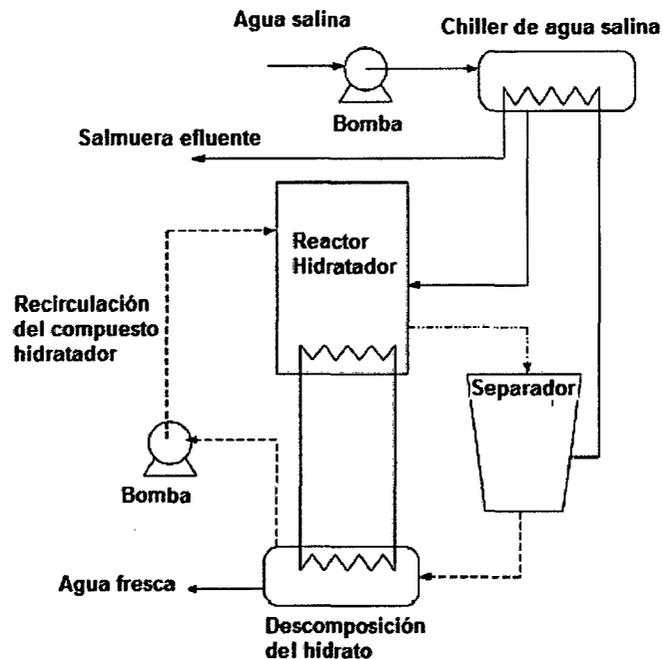


Figura 4.6. Proceso de desalinización por formación de hidratos.

- **Destilación por membranas:** Es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana el vapor se condensa, sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido, esta agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida hacia la salida.

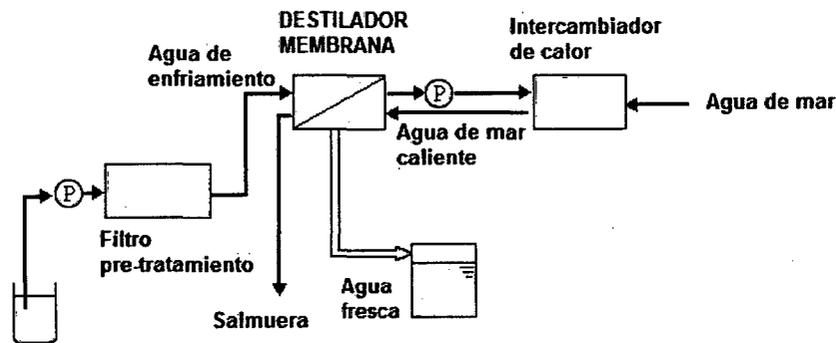


Figura 4.7. Esquema de destilación con membranas

- Compresión mecánica del vapor:** este método es más eficiente proceso de destilación. La aplicación del principio de la “bomba de calor” recicla y mantiene de manera continua el calor latente intercambiado en el proceso de evaporación-condensación dentro del sistema. En esta disposición, el calor requerido para evaporar parte del agua de alimentación procesada – que fluye por un lado de una superficie de transferencia de calor- es suministrado por la condensación simultánea del vapor que se transforma en destilado en el otro lado de esa misma superficie.

Un compresor que actúa como “bomba de calor” es la fuerza impulsora de esta transmisión de calor y suministra la energía requerida para separar la solución y sobreponerse a las pérdidas de caída de presión dinámica y otros procesos irreversibles. El vapor generado de la solución es bombeado al nivel de mayor presión entálpica requerido en el lado de condensación. Este trabajo, más la fracción requerida para bombeo de los líquidos, es la única energía consumida en el proceso. La compresión mecánica se alimenta eléctricamente, permitiendo así, obtener agua destilada utilizando solamente energía eléctrica. Este proceso no requiere calor adicional (Buros, 2000).

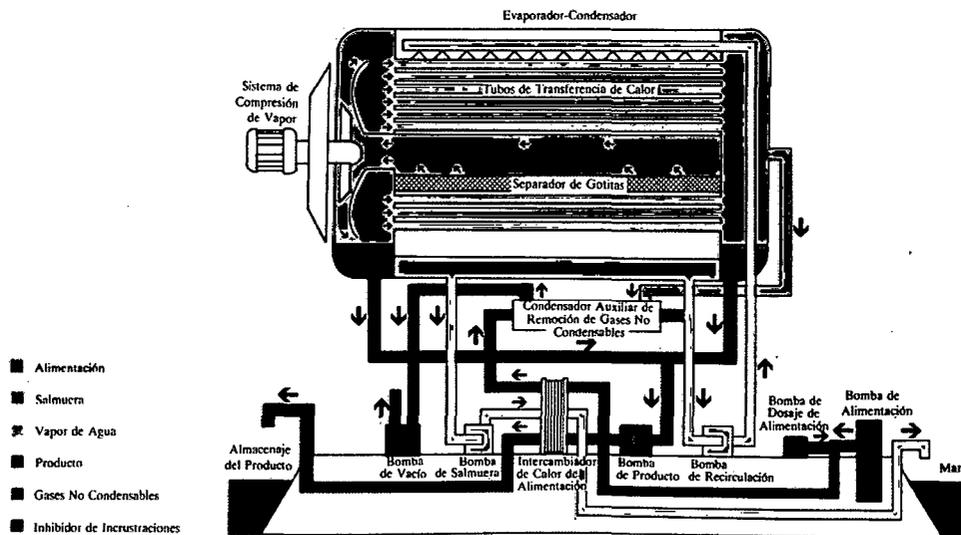


Figura 4.8. Planta de desalinización con compresión mecánica de vapor

- **Osmosis Inversa (OI):** Es un procedimiento que garantiza el tratamiento desalinizador físico, químico y bacteriológico del agua. Funciona mediante membranas de poliamida semipermeables, enrolladas en espiral, que actúan de filtro, reteniendo y eliminando la mayor parte de las sales disueltas al tiempo que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniéndose un agua pura y esterilizada.

Aguas con un elevado contenido de sales como, sodio, calcio, boro, hierro..., cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos..., pueden ser tratados con la osmosis inversa hasta alcanzar los límites considerados como agua aceptable para su utilización.

Las membranas filtrantes son la clave y responsables de separar las sales del agua. Dichas membranas pueden considerarse como **filtros moleculares**. El tamaño de los poros de estos filtros membranas es extremadamente reducido, por lo que se requiere una presión considerable para hacer pasar cantidades de agua a través de ellas. La elección del modelo de membrana más apropiado es según el agua a tratar y su empleo posterior, determinando el tipo de instalación más idónea.

Las suciedades que quedan en las membranas son posteriormente arrastradas y lavadas por la misma corriente de agua. De esta forma el sistema realiza una autolimpieza constante. Esta corriente de agua de desperdicio necesaria, está en relación directa con el tipo de membrana que se utiliza y sus exigencias. En la Figura 4.9 se muestra el principio esquemático de la osmosis inversa.

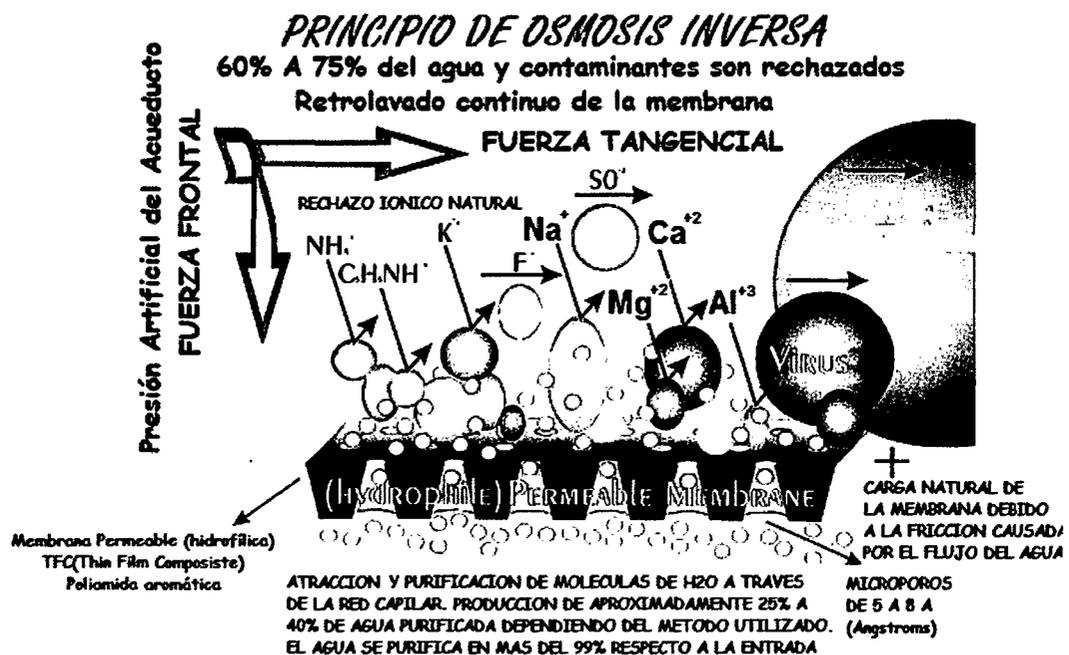


Figura 4.9. Principio de la Osmosis Inversa

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones muchos mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo un agua bruta de 35000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado). Además deber ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración. Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a

través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. **Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas**, por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretatamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación). El esquema básico se presenta en la Figura 4.10.

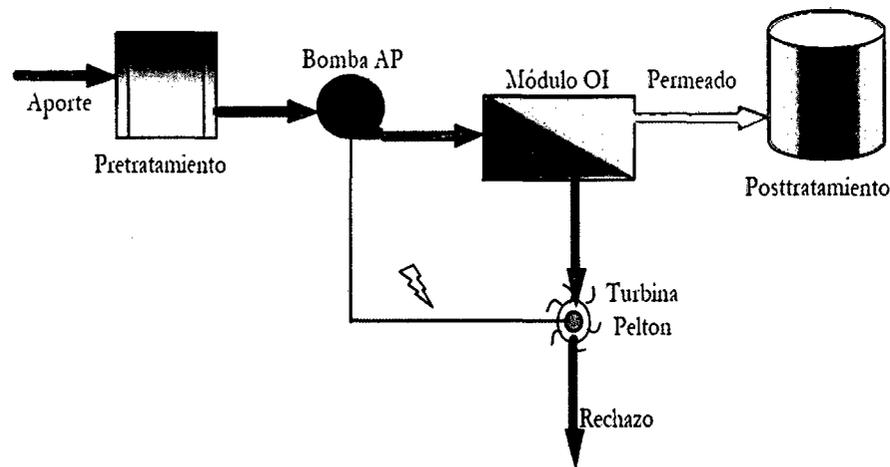


Figura 4.10. Desalación por ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada

Un sistema de osmosis inversa consta de cuatro etapas:

1. Etapa de pretratamiento físico. Tiene por objeto eliminar las impurezas y materia coloidal presente en el agua de pozo. Los equipos instalados son filtros de arena y filtros de cartuchos.
2. Etapa de pretratamiento químico. Tiene por objeto evitar que las sales del agua precipiten en la superficie de la membrana y, para ello, se dosifica dispersante en continuo. Si la precipitación no puede ser controlada únicamente mediante la adición de un dispersante, puede



adicionarse ácido para ajustar el pH o puede reducirse el factor de conversión de las membranas. También es necesario controlar el cloro libre para lo cual se necesita filtros de carbón activado.

3. Etapa de tratamiento. Tiene por objeto producir agua con el menor contenido posible en sales. En este caso se recomienda membranas de ósmosis inversa poliméricas enrolladas en espiral de baja presión y alto rechazo de sales.

4. Etapa de lavado. Tiene por objeto eliminar la suciedad que se va depositando en la superficie de las membranas para evitar que aumente la presión diferencial y, por tanto el consumo de energía. Además, el bioensuciamiento puede ocasionar el daño irreversible de la superficie activa de las membranas debido a la presencia de microorganismos en el agua (Amylum Ibérica, S.A., 2002).

- **Electrodiálisis (ED):** Consiste en el paso de iones a través de membranas permeables selectivas, bajo el efecto de una corriente eléctrica. En este proceso se colocan una serie de membranas catiónicas y aniónicas, entre dos electrodos, entre los cuales circula el agua a tratar. Las membranas, permeables solo a los cationes y aniones, limitan la migración de los iones entre los dos electrodos recogiendo así una corriente de agua desmineralizada y otra enriquecida en iones.

La electrodiálisis emplea membranas con carga fija para extraer agua pura de una solución salina. El campo eléctrico aplicado, pone los iones salinos (solutos) en movimiento hacia el electrodo de signo contrario. Las membranas resultan impermeables en los iones con carga de igual signo. Las membranas de distintas cargas se alternan.

Para ahorrar agua, se recircula parte del agua de los compartimientos de concentrado. El caudal de concentrado que se rechaza, se regula por medio

de una válvula de control en la línea de alimentación que controla el agua de aportación al circuito cerrado de concentrado que sustituye a una cantidad igual de agua de concentrado que va al rechazo (Ver Figura 4.11).

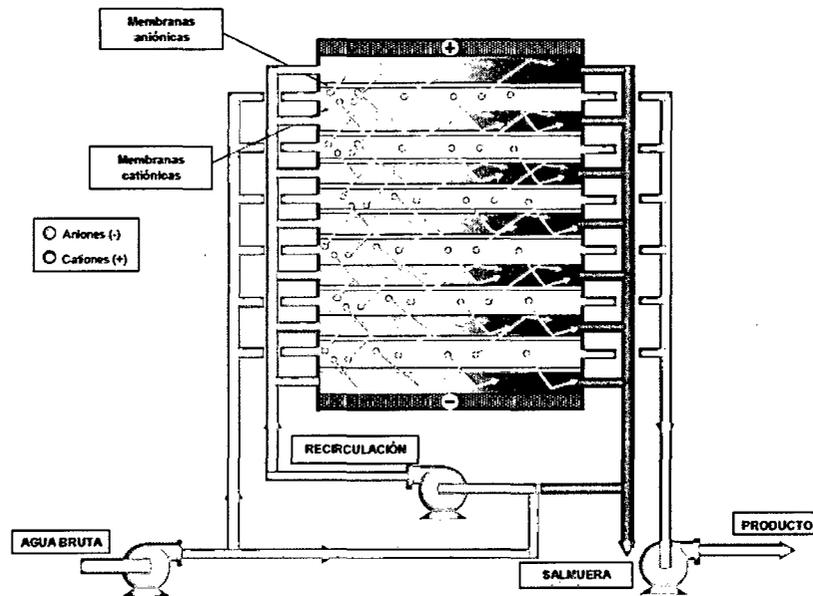


Figura 4.11. Diagrama de flujo del proceso de electrodiálisis.

- **Intercambio iónico:** El ablandamiento de aguas con intercambio iónico, es una de las herramientas más usadas y comunes en el acondicionamiento de aguas.

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH^- (permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H^+ (permutación ácida).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor que 1 gr/L. Por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos,

o en procesos industriales con tratamiento de afino. Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres de pozo.

A diferencia de la osmosis inversa, con el intercambio iónico se puede eliminar el 100% de las sales que contiene el agua, pero no compuestos orgánicos, bacterias o virus.

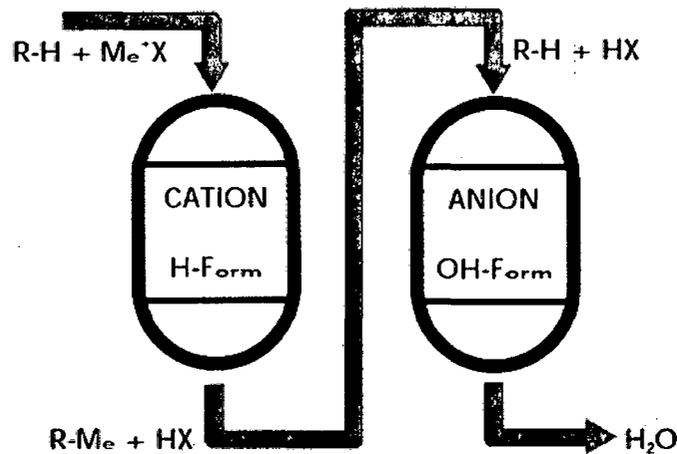


Figura 4.12. Esquema de desmineralización de agua por intercambio iónico

4.1.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA DE MAR

Para el análisis de selección del proceso se ha tomado en cuenta los procesos más ampliamente utilizados a nivel mundial: Destilación instantánea (MSF), destilación multiefecto (MED), termocompresión de vapor (TVC), compresión mecánica de vapor (CV), osmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED).

Hasta el año 2002 la tecnología que lideraba la desalinización de agua salinas era la evaporación multi-etapas flash (MSF) con un 44.2% de la capacidad instalada mundial, seguida de la osmosis inversa que llegó a representar el 39.6% de la capacidad mundial. La electrodiálisis represento, 5.2%, la destilación multi-efecto

4.1%, la compresión de vapor (CV) el 4.0 %, la destilación solar 2.1% y otras tecnologías 0.8% (Veza, 2002).

A partir del año 2005 la osmosis inversa ha ido reemplazando paulatinamente a la evaporación multi-etapas flash (MSF). Actualmente funcionan en el mundo más de 8000 plantas de todo tipo y tamaño que utilizan la osmosis inversa para desalar el agua de mar y obtener agua potable. De estas, el 66% están en Oriente Medio y el 26% del total están en Arabia Saudita. El 12% de la capacidad de desalinización se encuentra en América. Y analizando las tecnologías empleadas, el panorama actual es el siguiente: el 69% de la capacidad instalada corresponde a osmosis inversa, segundo de la evaporación multietapa con un 17%, la evaporación multiefecto, con un 9% y electrodiálisis con un 4%. El 1% restante corresponde a otras tecnologías (nuevatribuna, 2014).

En la tabla 4.2 se muestra datos comparativos de las distintas tecnologías de desalación a nivel mundial.

Características	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
<i>Tipo energía</i>	Térmica	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
<i>Consumo energético primario (Kj/Kg)</i>	Alto (>200)	Alto/medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)	Bajo (<30)
<i>Coste instalaciones</i>	Alto	Alto/medio	Alto	Medio	Medio
<i>Capacidad producción (m³/día)</i>	Alta (>50000)	Media (<20000)	Baja (<5000)	Alta (>50000)	Media (<30000)
<i>Posibilidad ampliación</i>	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
<i>Fiabilidad de operación</i>	Alta	Media	Media	Alta	Alta
<i>Desalación agua de mar</i>	Sí	Sí	Sí	Sí	No
<i>Calidad agua desalada (ppm)</i>	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)	Media (<300)
<i>Superficie terreno requerida de instalación</i>	Mucha	Media	Poca	Poca	Poca

Tabla 4.2. Comparación de las técnicas de desalación más empleadas (Valero et al.; 2001)

Tipo de Proceso	Tipo de Energía	
	Calorífica (termias/m ³)	Eléctrica (kWh/m ³)
Evaporación Multiefecto (MED)	55	1.6
Evaporación Multietapa (MSF)	70	3
Compresión de Vapor (CV)	0	8.7
Ósmosis Inversa (OI)	0	3.5

Tabla 4.3. Consumos de energía para cada proceso (Valero et al.; 2001)

Costes	MSF	MED	CV	OI
Coste de instalación (€/m ³ /día)	1080-1690	780-1080	1020-1500	660-1200
Consumo energético (MJ/m ³)	194-291	145-194	0	0
Consumo electricidad (kWh/m ³)	3,5-4,0	1,5-2,0	9-11	3-4,5
Operación y mantenimiento (€/m ³)	0,05-0,07	0,04-0,07	0,05-0,08	0,05-0,10
Recambios y prod. Químicos (€/m ³)	0,02-0,04	0,02-0,03	0,02-0,04	0,02-0,05
Reemplazo de membranas (€/m ³)	0	0	0	0,01-0,04

Tabla 4.4. Costes de instalación y operación para diferentes tecnologías de desalación (Valero)

Teniendo en cuenta que los procesos que necesitan energía térmica (MSF, MED) dependen del precio del combustible proveniente del petróleo se prevé que estos tendrán cada vez un costo más elevado. Además las tecnologías de evaporación-destilación ya han llegado a su tope. En la actualidad, para la aplicación en España, sólo cabe hablar de Ósmosis Inversa ya que los procesos de evaporación permanecen anclados en el techo tecnológico alcanzado y por tanto sin aplicación hoy por su mayor costo, tanto de instalación como de operación (Torres C.; 2004).

Al contrario, la tecnología de membranas está en franco desarrollo hacia tres objetivos: menos presión (mayor permeabilidad de la membrana), recuperación de energía (cámaras hiperbáricas) y mayor rechazo de sales (mayor selectividad). Con estas mejoras se ha proyectado a partir del 2010 un consumo específico de 2.9 kWh/m³ de agua de mar (Torres C.; 2004). Para agua de pozo el costo es menor. Además hay que tomar en cuenta que el impacto ambiental con el proceso de osmosis inversa es

menor que otras tecnologías. Por lo tanto la mejor alternativa para desalinización de agua de mar y de pozo es la Osmosis Inversa

4.2 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE OSMOSIS INVERSA

4.2.1 CALIDAD DEL AGUA DE MAR

El diseño de un sistema de osmosis inversa depende mucho del tipo de agua disponible. Algunas veces no es deseable o no es posible el uso de un sistema de osmosis inversa para obtener la separación completa. Por ejemplo, para algunas aguas industriales el tratamiento con membranas no es práctico por las altas presiones osmóticas que se producen, o la viscosidad, o la concentración de sólidos suspendidos que resultan.

Hay diversas fuentes de agua que pueden causar un serio ensuciamiento de las membranas, que hace necesario un pretratamiento para mantener una velocidad de permeación alta y estable a través de ella. Esta situación puede llevar a unan solución no solo con membranas, sino a procesos integrados, denominados híbridos, que permiten un buen funcionamiento de los sistemas de membranas con otros elementos, y ofrecen una mayor vida útil de ellas, como puede ser el caso de la osmosis inversa en el acondicionamiento de agua para la industria farmacéutica, perfumería o agua para calderas de alta presión.

Además de las características físicas –químicas del agua de mar cruda mostradas en la Tabla 3.5, hay que considerar otras componentes que puede tener el agua de mar y se muestra en la Tabla 4.5.

Temperatura	13 -23°C
Solidos totales en suspensión	< 50 ppm
Turbiedad	< 15 NTU
Aceite y grasas	2 ppm
Carbón orgánico total (COT)	5 ppm
Demanda química de oxígeno (COD)	5 ppm O ₂
pH	7.8 – 8.2

Fuente: Aqua Advise, 2012.

Tabla 4.5. Impurezas y otras características del agua de mar bruta

4.2.2 CALIDAD DEL AGUA PRODUCIDA

El agua osmotizada o el permeado de los módulos de ósmosis inversa debe ser acondicionada para cumplir con ciertas características de calidad, ya que el agua producida tiene un pH ácido y un bajo contenido de carbonatos, lo que la convierte en un producto altamente corrosivo. Esto exige su preparación antes de su distribución y consumo. El pH se ajusta con carbonato de calcio a un valor de 7,7.

Si se va utilizar tal como sale del sistema de osmosis inversa, sin post-tratamiento, el agua desionizada es bastante agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable, por lo tanto debe utilizarse plástico o vidrio para su almacenaje y manejo.

En este proyecto el agua producida por osmosis inversa será mezclada con el agua proveniente de la red de distribución de agua potable de Chiclayo en un proporción de 50% cada una. De esta manera se evitara costos de equipo costoso para su almacenamiento.

4.2.3 DOSIFICACION DE ANTIINCRUSTANTE - PRETRATAMIENTO

El pre-tratamiento de sistemas de osmosis inversa a gran escala casi siempre incluye dosificación química para la prevención de formación de incrustaciones. La formación de incrustaciones ocurre en la corriente salobre

cuando las sales solubles exceden sus límites de saturación y se precipitan en la superficie de las membranas. Las sales más comunes son carbonato de calcio, fluoruro de calcio, sulfato de calcio, sulfato de bario, sulfato de estroncio y varios complejos de sílice.

Los químicos utilizados para el control de estas incrustaciones e incrustaciones normalmente consisten en una combinación de ácido sulfúrico y un anti incrustante. El ácido sulfúrico es usado para reducir el pH a través del sistema y así mantener la solubilidad del carbonato de calcio, el fosfato de calcio, el hierro y el manganeso. Los antiincrustantes se usan para controlar las incrustaciones restantes. Los antiincrustantes más avanzados en el mercado son capaces de controlar la formación de incrustaciones e incrustaciones causados por todo lo mencionado anteriormente a niveles más elevados de pH que sus predecesores, reduciendo así, o eliminando completamente, la necesidad de dosificar ácido.

Hay una gran variedad de antiincrustantes en el mercado, muchos con limitaciones debido a sus estructuras químicas. Por ejemplo, los antiincrustantes basados en poliacrilatos y polimaleicos usados por muchos fabricantes frecuentemente se desactivan ante la presencia de tan poco como 0.5 ppm de hierro, perdiendo sus características para la inhibición de la incrustación y se precipitan sobre la membrana como ensuciamiento orgánico gelatinoso. Los antiincrustantes con base en fosfino-carboxilatos tienen la misma debilidad a menos que sean usados en combinación con una dosis suficientemente altas de ácido para convertir todo el hierro en su forma soluble. La mayoría de fabricantes no mencionan las limitaciones de sus propios productos dejando al usuario final con la frustrante tarea de limpiar las membranas con mucha frecuencia.

La incrustación de las membranas puede tener muchos impactos negativos en una planta de osmosis inversa. El incremento en la presión del agua de alimentación requerida para mantener la producción de permeado puede resultar en tremendos costos de energía, especialmente en el caso de

una planta de osmosis inversa de alta capacidad. Todo esto en adición a los costos obvios de horas-hombre, productos químicos y la pérdida de producción durante la limpieza de las membranas (Knoell y Owens, 2006).

4.2.4 PROCESO DE OSMOSIS INVERSA

La osmosis inversa es un proceso que fuerza que las moléculas de agua fluyan contra una presión osmótica neta. Esto se logra aplicando suficiente presión sobre el lado de alta concentración de una membrana semipermeable para invertir la migración neta de moléculas de agua. Por lo tanto, con adecuada presión, la osmosis inversa puede remover agua purificada de una muestra conteniendo concentraciones más altas de sólidos disueltos.

Ventajas de la ósmosis inversa: es el mejor método de filtración con relación al tamaño de partículas rechazadas. La Oi es realmente un “filtro molecular”. Su habilidad para rechazar sustancias disueltas depende del tamaño hidratado de las moléculas o iones en la solución. Los gases no ionizados o moléculas orgánicas pequeñas, las cuales son pequeñas como resultado que no se hidratan con las moléculas de agua, tienen una pobre velocidad de rechazo. En la Figura 4.14 se presenta la comparación entre diferentes capacidades de filtración de la Oi y otros métodos de separación con membranas tal como la ultrafiltración y la filtración convencional. Otra ventaja adicional es que la Oi remueve hasta más de 99.9% de las impurezas disueltas en el agua sin usar reactivos químicos.

Desventajas de la osmosis inversa: dentro de las desventajas tenemos que la Oi requiere una significativa cantidad de potencia para proporcionar la presión impulsora del sistema. También, en la osmosis inversa cierto porcentaje del agua alimentada se rechaza como desecho concentrado. Las cantidades rechazadas varían entre 15% a 40% del agua procesada. Dependiendo del sistema la cantidad de agua desechada puede ser mayor que el agua que se rechaza en un sistema de intercambio iónico. En general, mientras más alto el contenido de minerales en el agua alimentada, más ventajas para la osmosis inversa.

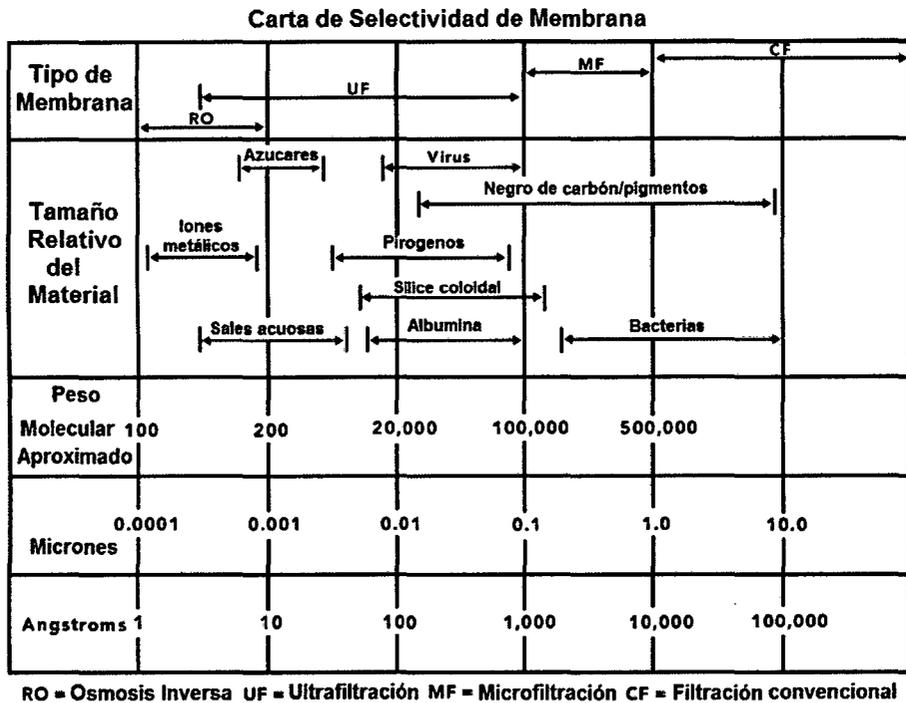


Figura 4.13. Carta de Capacidad de Filtración

El mecanismo por el que se separa el agua y la sal por osmosis inversa no está completamente comprendido. Los científicos sugieren dos modelos de transporte: porosidad y difusión. Es decir, el transporte del agua a través de la membrana puede ser a través de poros físicos presentes en la membrana, o por difusión de un grupo de moléculas de un sitio a otro dentro de la membrana. La teoría de la reacción de la membrana sugiere que la naturaleza química de la membrana es tal que esta absorbe y pasa agua preferencialmente en lugar de sales en la interface sólido/líquido. Esto puede ocurrir gracias a un enlace químico débil del agua en la superficie de la membrana o por disolución del agua dentro de la estructura de la membrana. De cualquier forma, un gradiente de concentración de sal es formado a través de la interface sólido/líquido. La naturaleza química y física de la membrana determina su habilidad para permitir el transporte preferencial del solvente (agua) sobre el soluto (sales iónicas).

4.2.5 TIPO DE MEMBRANA

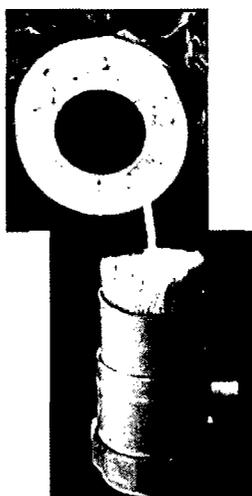
En la década de los años setenta los procesos con membranas emergieron como una tecnología limitada y costosa que podría ser usada con aguas salobres. Estos sistemas de alto coste limitaban los procesos de ósmosis inversa, hasta que aparecieron las configuraciones de módulos en espiral, que permitieron una competitividad, al reducirse los costes. Los procesos de ósmosis inversa fueron beneficiados de las configuraciones en espiral, y su uso en el control del carbón orgánico y de dureza se incrementó notablemente.

Las dos configuraciones principales de membranas usadas en ósmosis inversa son la fibra hueca y la de espiral. Los otros dos tipos de configuración de membranas son las tubulares y las de placa y marco. Estas dos últimas han encontrado aceptación en la industria alimentaria y la de lácteos y otras aplicaciones especiales, pero ninguna se usa para ósmosis inversa.

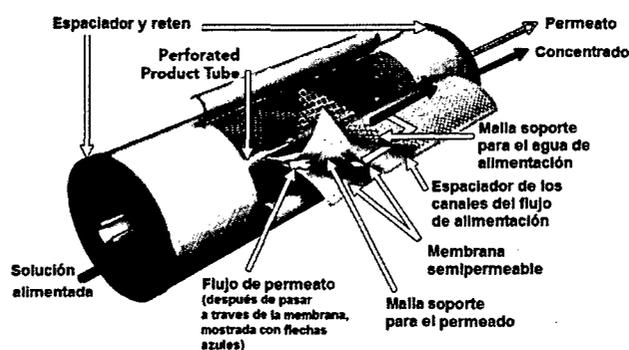
Membrana de fibra hueca: esta configuración usa membranas en la forma de fibras huecas que han sido extruidas de material celulósico o polimérico. La fibra es asimétrica en estructura y es tan fina como un cabello humano. Medidas típicas son 0.42 micrones de DI y 85 micrones de DE. Millones de estas fibras forman un manojo y son dobladas por la mitad. Un tubo plástico perforado que sirve como distribuidor del agua alimentada es insertado en el centro y se extiende a todo lo largo del paquete.

El paquete de fibra hueca de 10 a 20 cm de diámetro, está contenida en un recipiente cilíndrico de aproximadamente 137 cm de longitud y 15 a 30 cm de diámetro. El arreglo se conoce como permeador. El agua presurizada ingresa al permeador a través del tubo distribuidor central, pasa a través de las paredes del tubo y fluye radialmente alrededor del paquete de fibras hace la salida del casco permeador.

Las membranas de fibra hueca son especialmente usadas cuando el flujo es laminar. Son difíciles de limpiar y el agua necesita una pre-filtración más rigurosa que una membrana en espiral.



Membrana en espiral: en una configuración tipo espiral, dos hojas planas de membrana son separadas con un colector permeable para formar una sola hoja. Este dispositivo esta sellado en los tres lados, con el cuarto lado abierto para la salida del permeado. Un hoja soporte que separa el agua permeada de la sal es adicionada para formar la hoja final. Un paquete de estas hojas se enrolla alrededor de un tubo plástico central para la salida del permeado. Este tubo es perforado para recolectar el permeado de las múltiples hojas que constituye el sistema. Un **elemento de membrana** espiral de tamaño industrial es de aproximadamente 100 a 150 cm de largo y 20 (8 pulg) de diámetro.



Este tipo de membrana trabaja en flujo turbulento y por lo tanto se reduce la polarización por concentración. La recuperación es función de la longitud del recorrido del agua salada. Por tal motivo los sistemas de espiral son generalmente construidos con tres a siete elementos de membrana conectados

en serie dentro de un tubo a presión. Un solo tubo a presión con seis elementos de membrana conectados en serie pueden operar hasta una recuperación de 50% bajo condiciones de diseño normal. Cada elemento de membrana tiene un sello para la salmuera alrededor del lado externo del elemento en el extremo de alimentación.



4.2.6 MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LAS MEMBRANAS

Hay dos grupos principales de materiales poliméricos que pueden usarse para membranas de osmosis inversa: acetato de celulosa y la poliamida de polisulfona. La membrana de celulosa tiene una estructura asimétrica con una capa superficial densa de cerca de 1000 a 2000 Å (0.1 a 0.2 micrones). En la Tabla 4.5 se resume las principales características que diferencian cada tipo de membrana.

Características	Acetato de celulosa	Poliamida de polisulfona
Siglas	T.F.C.A.	T.F.C.
Origen	Natural	Sintético
Resistencia a las bacterias	Baja	Alta
Resistencia al cloro	Alta	Baja
Tolerancia al pH	Baja: 4 a 6	Alta: 3 a 10
Prefiltro obligatorio	-	Anticloro
Tasa de depuración	93%	96%
Rendimiento	30%	50%
Ventajas	Precio	Rendimiento
Inconvenientes	Frágil	Precio

Tabla 4.5. Características de las Membranas Naturales y Sintéticas

4.2.7 FLUJO DE AGUA

El termino **flujo** es un término que describe la cantidad de agua producida por área de membrana por día. El flujo es comúnmente medido como galones U.S. de agua producida por pie cuadrado de área de membrana activa por día (GFD). Hay una relación entre el flujo de agua y la velocidad de incrustación de una unidad de OI. Un flujo alto hace que la membrana se incruste más rápidamente. Para lograr una operación estable, el flujo debe estar debajo de algún punto máximo razonable. Los diferentes tipos de agua tienen diferentes flujos máximos. Los flujos típicos para varios tipos de agua se muestran en la

Tabla 4.6. Flujo de agua recomendados para Osmosis Inversa

Tipo de agua	Flujo de agua Galones/pie²/dia (GFD)
Agua de desagüe domiciliario	8 - 12
Agua tratada de canal o de río	8 -14
Agua superficial (lagos/reservorios)	8 – 14
Agua de pozo profundo (baja turbidez)	14 -18
Agua permeada de OI	20 -30
Agua de mar superficial	7 -10
Agua de mar agua profundas	7 - 10

Se debe tener en cuenta que la velocidad de flujo a través de una membrana es proporcional a la diferencia de presión impulsora neta a través de la membrana. Y la velocidad de flujo de sal es proporcional a la diferencia de concentración a través de la membrana y es independiente de la presión aplicada.



4.2.8 CONCENTRACION DE POLARIZACION

Conforme el agua fluye a través y las sales son rechazadas por la membrana, una capa límite es formada cerca a la superficie de la membrana en la cual la concentración de sal excede a la concentración de sal en la solución global alimentada. Este aumento de la concentración de sal es conocida como concentración de la polarización. La concentración de la polarización disminuye el flujo real de producto y el rechazo de las sales debajo de estimados teóricos. Una forma de evitar la concentración de la polarización es trabajar en régimen turbulento lo cual solo se puede hacer con membranas del tipo espiral.

4.2.9 REGLAS PARA EL DISEÑO Y MANEJO DE OI

A título de resumen indicaremos las reglas y conceptos más importantes que afectaran a su diseño y a su manejo.

- A mayor temperatura de diseño más flujo de permeado y menor calidad.

Diseñar a temperaturas muy elevadas puede acortar la vida de las membranas.

- Cada membrana tiene una producción determinada, la cual no se debe sobrepasar.

- No se debe sobrepasar nunca los GFD de diseño de las membranas, haciéndolas trabajar a mayor presión.

- Doblar el GFD a corta su vida en el orden de 4 veces.

- Trabajar a recuperaciones altas, repercute la precipitación de sales haciendo que se laven más frecuentemente y acortando la vida de las membranas.

- La recuperación de cada elemento no debe ser superior a la de diseño.

- Si se trabaja a recuperación alta hay que instalar el número adecuado de membranas dispuestas en etapas, y el caudal de salida del último elemento de cada etapa no debe ser inferior al mínimo recomendado.

- La calidad de permeado empeora con el aumento de la recuperación.

4.3 DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO

4.3.1 Toma de mar abierta

El agua de mar bruta es captada y conducida a la planta por las instalaciones de intake o toma de mar. Estas incluyen:

- Toma de succión off-shore. La toma de succión se encuentra bajo el agua a una profundidad de aproximadamente 19 metros bajo el nivel del mar y 4 metros sobre el lecho marino, reduciendo así los riesgos de absorber petróleo o hidrocarburos flotantes alrededor de la planta desaladora, que pueden dañar las membranas.
- Tuberías de aspiración marinas y terrestres, que conectan la toma de succión con la estación de elevación de agua de mar, que puede ser en la playa, o preferiblemente dentro de las instalaciones de la planta desaladora.
- La estación de elevación de agua de mar estará equipada con 2 (1 trabajando + 1 en stand-by) bombas centrífugas verticales en superduplex, impulsadas por variadores de frecuencia (VFDs). Las tuberías de aspiración conectan con la parte inferior del pozo de succión de las bombas de elevación a entre -5 y -9 metros bajo el nivel del mar. Las bombas ascienden el agua de mar hasta la sección de pre-tratamiento.

4.3.2 Pre-tratamiento

La mejor opción es flotación con aire disuelto (DAF - Dissolved Air Flotation) con sub sistemas de coagulación / floculación integral + disco de filtrado automático (Automatic Disc Filter ó ADF) + Ultrafiltración (UF). Debido a la alta fuerza iónica del agua de mar, la compresión de la capa Stern puede afectar sustancialmente no sólo a la química de coagulación, debido a mayores fuerzas repulsivas, sino también la

fortaleza de los flóculos que se forman. Varias investigaciones indican que una interfaz aire-agua absorbe preferentemente proteínas en agua con alta fuerza iónica. El uso de DAF como pre-tratamiento en la desalación de agua de mar posee ventajas adicionales sobre los medios convencionales o incluso la filtración avanzada por membranas, ya que reduce principalmente proteínas asociadas al ensuciamiento o "fouling" de las membranas de ósmosis.

Importantes estudios y aplicaciones a gran escala de sistemas DAF en pretratamiento de agua de mar han demostrado que el DAF puede mejorar considerablemente el rendimiento de los procesos aguas abajo de esta unidad, tales como procesos de filtración de ADF y UF, y que se han conseguido resultados de SDI (Silt Density Index) por debajo de 3, sobre una amplia gama de parámetros de operación durante el tratamiento de agua de mar con concentraciones de algas y zooplancton entre moderadas y altas. También está demostrado que el DAF puede alcanzar en promedio un 30-40% de extracción de compuestos orgánicos y proporcionar protección durante condiciones de mar agitado, durante derrames de aceite e hidrocarburos para eliminar gotas micrónicas de aceite, y durante procesos de florecimiento de algas y plancton. Ejemplos de referencias son: Cleveland 2002, Braghetta 1997, Huijbregsen 2005, El Coloso, Chile 2003, Taweelah Abu Dhabi, 2003 y Tuas Singapur 2009.

De hecho, durante el verano de 2008, todas las plantas de desalación por membranas del Golfo Pérsico tuvieron que interrumpir sus operaciones durante una floración de algas rojas, con la excepción de las dos plantas que utilizan DAF como primer paso en el pre-tratamiento. En conclusión la opción más sólida, idónea y eficiente como pre-tratamiento de la desaladora de Pimentel será DAF + ADF + UF.

4.3.2.1 Coagulación y Floculación

El funcionamiento eficiente del sistema DAF + ADF requiere que las partículas más pequeñas en el agua de mar sean floculadas. La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. El proceso de floculación es precedido por la

coagulación, por eso se suele hablar de procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La coagulación inicial se realiza mediante la inyección de solución de sulfato o cloruro férrico.

- La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.
- La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

Un mezclador estático se instalará en la tubería de agua de mar para la mezcla de coagulantes. El canal de distribución será diseñado para distribuir uniformemente los flujos entrantes a cada una de las cámaras mecánicas de floculación. La planta tiene 6 células mecánicas de floculación de doble etapa. Estas son ligeramente agitadas, para permitir que los flóculos crezcan. Los recipientes o tanques de floculación tienen un tiempo de contacto de 20 minutos a caudal máximo de agua de mar.

La experiencia ha demostrado que durante condiciones severas de agua de mar, mayor tiempo de contacto y agitación lenta favorecen los mejores resultados en la formación de flóculos y en la reducción de cargas de partículas ligeras y materia orgánica.

El agua floculada a continuación se desborda, a través de un canal de distribución, en el fondo de las células DAF, donde el agua floculada se mezcla con el agua de mar saturada de aire.

4.3.2.2 Flotación con aire disuelto (DAF)

La tecnología DAF fue inicialmente patentada en 1924 por Peterson y Sveen para la separación de la fibra en la industria de pulpa y papel. El proceso fue utilizado por primera vez para el tratamiento de agua potable en Suecia en 1960 y ha sido ampliamente utilizado en Escandinavia y el Reino Unido por más de 30 años. En los últimos 10 años, el sistema DAF ha sido evaluado e instalado en muchas instalaciones de ósmosis inversa de agua de mar, como pre-tratamiento.



En la flotación, los efectos de asentamiento inherentes a la gravedad son compensados por las fuerzas de ascenso de pequeñas burbujas de aire (micro-burbujas). Estas burbujas de aire se introducen en el agua floculada, donde se adhieren a las partículas de flóculos que flotan a la superficie.

Un asentamiento efectivo de partículas por gravedad requiere que sean desestabilizadas, coaguladas y floculadas utilizando los coagulantes óptimos. Lo mismo es cierto para el sistema DAF. En la solución de gravedad, el proceso de floculación debe ser diseñado para crear flóculos grandes y pesados que se depositan en la parte inferior del depósito. En el sistema DAF, la floculación está diseñada para crear un gran número de pequeñas partículas de flóculos que puedan ascender flotando a la superficie. Para una flotación eficiente, las partículas floculadas deben estar en contacto con un gran número de burbujas de aire. Tres mecanismos trabajan en este proceso de conexión aire/flóculo:

- 1) adhesión de burbujas de aire en la superficie del flóculo
- 2) atrapamiento de burbujas bajo el flóculo
- 3) absorción de burbujas en la estructura del flóculo

El tamaño de las burbujas de aire es muy importante. Si las burbujas son demasiado grandes, la tasa de ascenso resultante será muy rápida y superará los requisitos de flujo laminar, provocando un rendimiento deficiente. Si las burbujas son demasiado pequeñas, dará como resultado una tasa de ascenso baja y se necesitarán tanques más grandes.

Para el proyecto propuesto de DAF, el agua floculada se introduce uniformemente a través del extremo del tanque, cerca de la parte inferior, en la zona de dispersión del reciclado. El reciclado se introduce continuamente a través de un sistema de distribución. Nuestro diseño permite hasta un 10% de tasa de reciclado. Cuando la presión del caudal de reciclados reduce repentinamente de su presión de operación entre 60 a 90 psi (414 a 620 kPa) a presión atmosférica, se libera aire saturado dentro de la secuencia de reciclado en forma de microburbujas, con un rango de tamaño de 10 a 100 μm (con un promedio de entre 40 a 50 μm). Las micro-burbujas se fijan al material floculado causando su flotación a la superficie.

En la superficie, la burbuja-flóculo forma una capa estable y en constante crecimiento de materia flotante. Si se deja en la superficie, la materia flotante puede espesar hasta llegar a entre un 3% y un 6% de sólidos secos, que se eliminan del proceso DAF con un skimmer mecánico o hidráulico. La planta utilizará un total de 12 unidades DAF. Cada unidad DAF tiene una bomba de reciclado y un Saturador. El conjunto de unidades DAF utilizan dos compresores de aire (sin aceite) en funcionamiento y uno en stand-by.

4.3.2.3 Filtro de disco automático (ADF)

El filtro de disco automático se utiliza para la eliminación de sólidos en suspensión, con filtración de 200 micras. La planta utilizará 12 baterías de filtros ADF, 11 en modo filtración y 1 fuera de servicio (habitualmente en modo retro lavado). Tres (2 en funcionamiento + 1 en espera) bombas centrífugas de alimentación, equipadas con variador de frecuencia o VFD, alimentan los filtros ADF. Los VFD son necesarios para el control de caudal adecuado, teniendo en cuenta el funcionamiento correcto de los filtros ADF y la reducción al mínimo del consumo energético.

La caída de presión (pérdida de carga) diferencial en cada unidad de filtro de disco automático determina la necesidad de retro lavado. El retro lavado es un proceso automático controlado por dos válvulas en on/off en los lados de alimentación y de producto de cada unidad ADF individual. El lavado se hace con agua de proceso y el agua del retro lavado se descarga al tanque de recolección de agua de backwash (BW) o retro lavado.

4.3.2.4 Ultrafiltración

La ultrafiltración es un proceso de purificación por presión en el que el agua y sustancias de bajo peso molecular permean (traspasan) la membrana, mientras que partículas, coloides, macromoléculas y patógenos tales como bacterias, virus y quistes son filtrados (eliminados). Generalmente se utilizan membranas con tamaño de poro en el rango de 0,1 a 0,01 micras. Las membranas de ultrafiltración proporcionan una filtración del agua mediante la exclusión por tamaño físico, resultando en un suministro constante de agua tratada de alta calidad independientemente de la calidad de entrada.

La planta utiliza 18 baterías de ultrafiltración, 16 en modo de filtración y 2 fuera de servicio (en CEB – Chemical Enhanced Backwash - y lavado a contracorriente o contra lavado). El agua filtrada desde los equipos ADF fluye directamente a la ultrafiltración, sin bombeo adicional.

Se requieren válvulas de control de caudal en las líneas de alimentación a las unidades individuales de UF para la distribución de caudales adecuada entre las unidades. La filtración en la membrana se produce de dentro hacia fuera, lo que significa que las sustancias son retenidas en la superficie interna de las membranas UF.

La mayor parte del permeado de la UF fluye directamente al sistema de ósmosis inversa, y el resto se recoge en un tanque de permeado de UF para necesidades de lavado posteriores.

Limpieza de Membranas UF

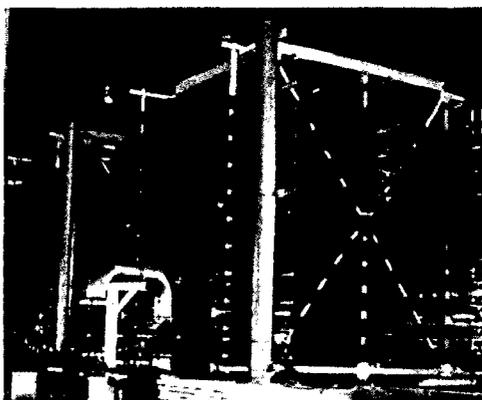
Las membranas UF se limpian periódicamente mediante retro lavado (BW o Back Wash) y retro lavado químicamente mejorado (CEB). Durante el BW se limpian las membranas UF desde fuera hacia dentro con el concentrado de ósmosis inversa de agua de mar. Se instalarán 3 bombas de BW (2 en funcionamiento + 1 en standby). El agua resultante del BW se descarga al tanque de recolección de agua de BW. Durante el CEB, las membranas UF se limpian desde fuera hacia dentro con parte del permeado (agua producto) y productos químicos que se introducen en el caudal. Cualquier sustancia adjunta a la superficie de la membrana UF se separa durante un proceso de baño químico por un tiempo limitado. Para este propósito, se instalarán

dos bombas CEB (1 en funcionamiento + 1 en espera) y tres conjuntos de dosificación de químicos para ácido (HCL), soda cáustica (NaOH) e hipoclorito (NaOCl). El agua de CEB se descarga al tanque de recolección de agua de BW.

Mantener baja la presión trans-membrana (TMP) tiene varias ventajas. Se produce una compactación muy baja, de forma que restaurar el rendimiento de las membranas es fácil con retro lavados regulares y CEB. Una TMP baja también indica un bajo consumo energético.

4.3.3 Osmosis inversa del agua de mar (SWRO)

El proceso de ósmosis inversa contiene una membrana semipermeable a través de la cual se fuerza el agua presurizada. Los pequeños poros de la membrana de ósmosis inversa son restrictivos para compuestos orgánicos tales como la sal y otros minerales naturales, que generalmente tienen una composición molecular más grande que el agua. Estos poros también



son restrictivos para las bacterias y agentes patógenos causantes de enfermedades. El resultado final es agua desalada en un lado de la membrana ("permeado") y una solución salina de agua, altamente concentrada, en el otro lado ("concentrado o salmuera").

El sistema de SWRO constará de 6 bastidores o trenes paralelos. Cada tren constará de 200 tubos de presión, cada uno con 8 elementos (membranas) para agua de mar, unas de bajo consumo energético y otras de alto rechazo. En principio se considera un concepto de semi-centro de presión, diseñado para producir 10000 m³/día de agua producto, basado en 3 bombas de alta presión de 0.15 m³/hora, grandes y por consiguiente más eficientes. Cada bomba alimentará 2 bastidores de membranas, cada uno con su batería de recuperadores de energía Pressure Exchanger (PX) de ERI. Los trenes de equipos PX se calcularán para manejar un 120% del caudal nominal, permitiendo así variaciones de conversión y flexibilidad en operación. Este diseño puede funcionar con tres trenes en paralelo con aguas frías de

invierno, con las válvulas de aislamiento cerradas, y como un centro de presión con 5 trenes de membranas cuando estén abiertas. También puede acomodar una bomba de alta presión instalada de repuesto, que podría reemplazar cualquier bomba que falle. Cada bastidor de membranas será limpiado en el sitio (Clean In Place) individualmente.

Limpieza de membranas SWRO

Durante la operación normal de la planta, tras un período de tiempo razonable, las membranas de ósmosis están sujetas a ensuciamiento, incluyendo incrustaciones por materiales suspendidos o escasamente solubles que pueden estar presentes en el agua de alimentación. La naturaleza y la rapidez del ensuciamiento dependen de varios factores, tales como la calidad del agua de alimentación y la tasa de recuperación del sistema. Normalmente, el ensuciamiento es progresivo y, si no se controla pronto, será perjudicial para el rendimiento de las membranas en un tiempo relativamente corto. La limpieza debe ocurrir cuando el sistema muestra evidencias de ensuciamiento, justo antes de una parada de largo plazo, o como una cuestión de mantenimiento rutinario programado. Cuando se aplica un flushing, las membranas se enjuagan con agua de permeado del tanque de producto. El agua de permeado fluye a través del sistema más rápidamente que durante la fase de producción. Debido a la rapidez del flujo y la turbulencia resultante, las partículas que se encuentran adjuntas a las membranas son liberadas y descargadas. También se produce un shock osmótico, o de diferencia de salinidad, que previene el crecimiento de bacterias.

El procedimiento CIP (Clean In Place) es el mismo que el de flushing excepto por el uso de productos químicos. Los productos químicos de la CIP (NaOH y HCl dependiendo del nivel de ensuciamiento o incrustaciones) se añadirán al tanque CIP desde los tanques de almacenamiento de productos químicos. La solución CIP usada será descargada al tanque de recolección de agua de BW.

4.3.4 Unidad de remineralización

La instalación de remineralización consta de una batería de lechos de calcita que disuelven bicarbonato de calcio en el permeado de SWRO, que ha sido enriquecido con dióxido de carbono. El proceso agrega dureza de calcio y alcalinidad

al agua desalada, que se convierte en más sabrosa y menos corrosiva para las tuberías.

4.3.5 Tanque de agua producto y bombas de distribución

Se instalará un tanque en concreto de almacenamiento de agua producto final, con una capacidad de 10.000 m³. Soda cáustica se inyectará al producto final para el ajuste fino de pH e hipoclorito de sodio para desinfección.

Tres (2 funcionando + 1 en stand-by) bombas de distribución del agua producto impulsarán el agua producto desde el tanque de producto final hasta el punto de entrega, o hasta la siguiente estación de bombeo. Antes de salir de la planta desaladora, la cantidad entregada se mide y se supervisa su calidad (turbidez, salinidad, pH y cloro libre).

4.3.6 Sistema de descarga de salmuera

La salmuera de la desaladora será suministrada a un estanque de salmuera dentro de las instalaciones de la planta. Esta fosa está conectada con tuberías terrestres y marinas a un sistema de difusores que lo dispersa en el agua de mar, favoreciendo su dilución y minimizando el impacto en el medio marino.

4.3.7 Tanque de recolección de agua de contra lavado

Un tanque de hormigón de 50 m³, sirve para recoger el backwash de ADF, UF BW y CEB, caudal de residuos de los DAF y soluciones CIP neutralizadas. El depósito de recogida de agua de BW se impulsa a la línea de descarga de salmuera por 3 bombas (2 en funcionamiento + 1 en stand-by).

4.3.8 Tratamiento de lodos

Como parte del enfoque ecológico, manteniendo el diseño de alta calidad, los volúmenes de BW, CEB y CIP se reducen al mínimo. Se propone incluir el proceso de tratamiento de lodos, que reducirá considerablemente la concentración de sólidos en suspensión y aceites en las corrientes de caudal de backwash o retro lavado. Para ello

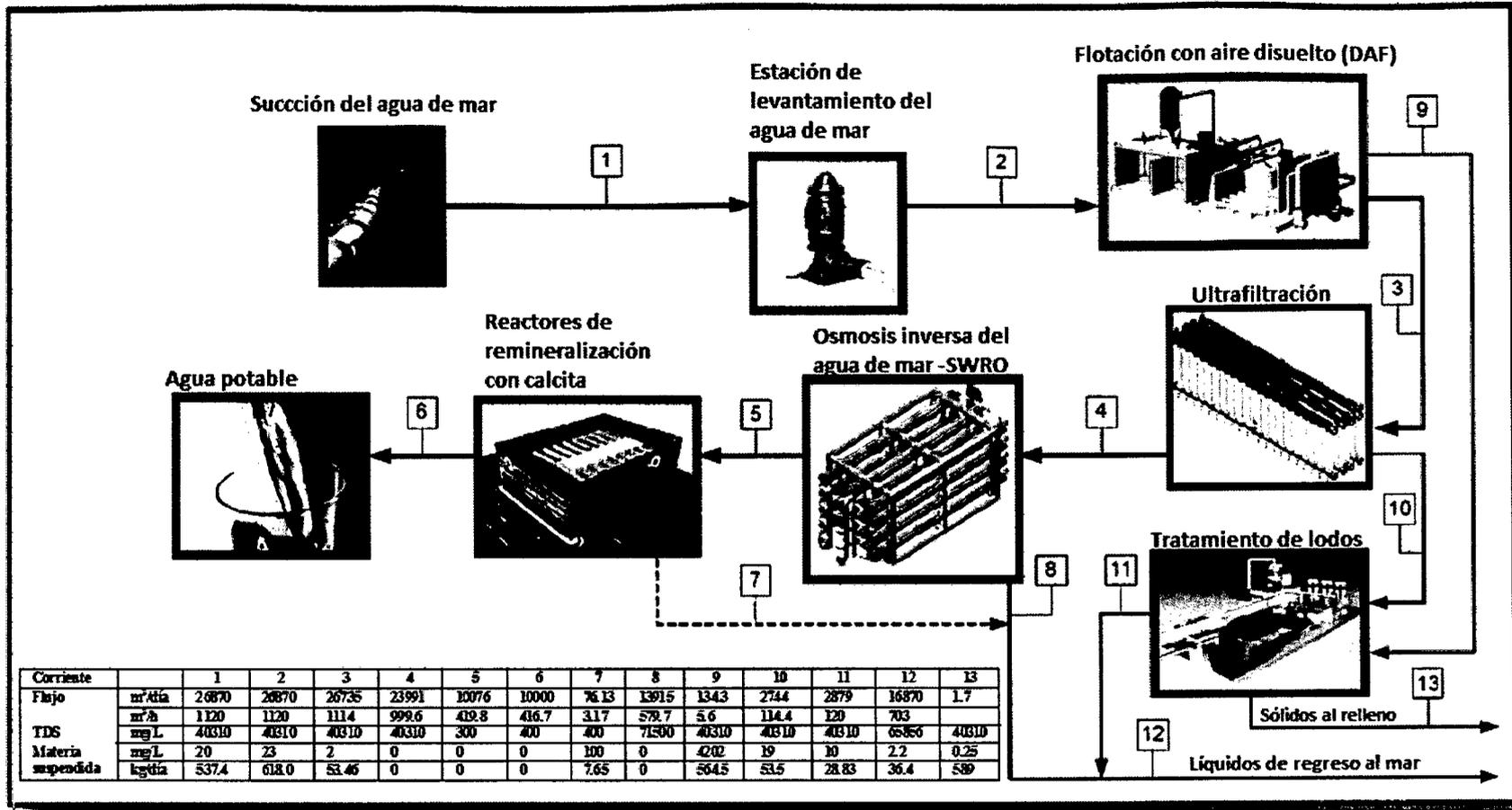
serán necesarios equipos adicionales, como un tanque de recolección, unidades de floculación, clarificación y concentración de lodos por sistema de centrifugado.

4.3.9 Instalación de productos químicos

Un área apropiada, adyacente a la carretera principal de acceso, se utilizará para el almacenamiento de productos químicos a granel, como sosa cáustica, antiescalante, Metabisulfito de Sodio (SMBS), hipoclorito y ácido sulfúrico. Los camiones de distribución de químicos pueden conectar directamente con el punto de entrega, que dispondrá de conexiones rápidas, monitoreo de nivel de tanques y sistema de contención de derrames. Se proporcionarán duchas de emergencia y lavado de ojos en esta zona. Todos los productos químicos tendrán un mínimo de siete días de almacenamiento en las instalaciones

4.4 DIAGRAMA DE FLUJO: BALANCE DE MASA Y ENERGIA

En la Figura 4.14 se muestra el diagrama de flujo del proceso completo de desalinización de agua de mar para producir agua potable. El balance de masa se realizó en base a una producción de 10000 m³/día.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.14. Diagrama de flujo y balance de masa del proceso de obtención de agua potable a partir de agua de mar por osmosis inversa

De acuerdo al balance de masa se necesitará procesar 26970 m³/día de agua de mar para obtener 10000 m³/día de agua potable. El agua de mar en la entrada se considera que contiene 40310 ppm de sólidos totales disueltos y el agua producida tendrá en promedio 400 ppm de sólidos disueltos y será apta para consumo humano. Se considera que la planta opera los 365 días del año.

A continuación se muestra el **consumo de productos químicos** para procesar 10000 m³ de agua potable a partir de agua de mar.

- Sulfato ferrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): para la clarificación del DAF, 213.5 ton/año, con un costo de 85506 dolares por año
- Sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): para la etapa de ultrafiltración: 35.6 ton/año, con un costo de 14251 dólares por año
- Hipoclorito de sodio (NaClO 12%): 0.9 ton/año, costo 301 dólares por año.
- Hidróxido de sodio (NaOH 45%): 17.8 ton/año, 7812 dólares por año
- Ácido clorhídrico (HCl , 33%): 21.1 ton/año, 7635 dólares por año
- Bisulfito de sodio (NaHSO_3): antes del RO, 8.4 ton/año, 2814 dólares por año.
- Anti-incrustante: antes del RO, 3.7 ton/año, 8212 dólares por año
- Dióxido de carbono: para la reminerilización, 106 ton/año, 85777 dólares por año
- Calcita: para la remineralizacion; 221.2 ton/año, 11066 dólares por año
- NaOH : para pulir el producto, 15.55 ton/año, 6412 dólares por año
- Hipoclorito de sodio (NaClO): para pulir el producto, 16.2 ton/año, 2585 dólares por año.
- Ácido cítrico: limpieza CIP del RO, 1.2 ton/año, 963.6 dólares por año
- Polímero aniónico: tratamiento de lodos, 2.7 ton/año, 6844 dólares/año
- Polímero catiónico: tratamiento de lodos, 1.8 ton/año, 4562.5 dólares/año

Realizando la sumatoria se obtiene un costo en reactivos químicos de 0.067 dólares por m³ de agua potable.

Consumo energético

Existen dos grandes consumidores de energía en la planta (Ver Anexo):

Impulsión de agua de mar: 2.16 kWh/m³

Planta de osmosis inversa: 3.08 kWh/m³

Teniendo en cuenta que la planta no tiene consumo de energía térmica, la potencia que se instalar para ambos requerimientos será:

Impulsión de agua de mar: 1200 kW

Planta de osmosis inversa: 1700 kW

En el cálculo se debe considera que siempre se instala 30 a 40% más del requerido.

Otros insumos:

Un material consumible que se debe tomar en cuenta son las membranas de los equipos de osmosis inversa. Estos deben ser reemplazados cada dos años. Pero en costo de operación se debe considerar. El costo promedio para el reemplazo por año es de 0.020 dólares por m³ de agua obtenida.

4.5 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS

4.5.1 Tubería e impulsión de agua de mar

Longitud total: 20 km

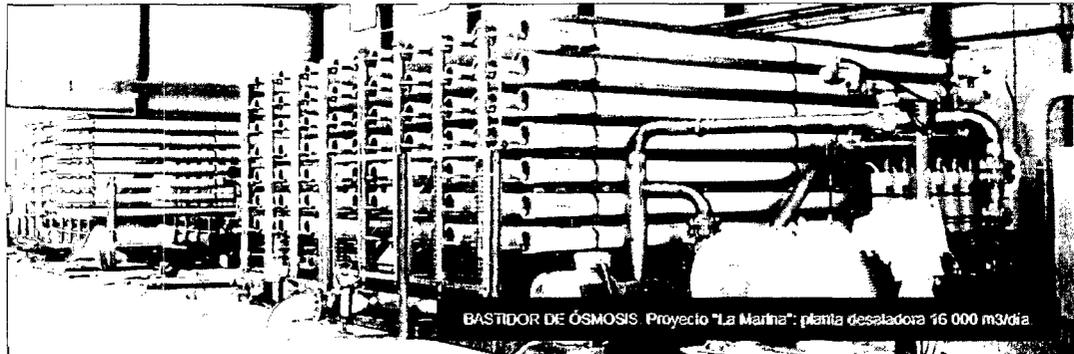
Altura máxima de bombeo: 200 m sobre el nivel del mar

Tubería: de acero con soldadura helicoidal, diámetro exterior 12 pulg, espesor 10 mm, acero API 5L-X42-PSL-2, revestimiento interior (30 micras Epoxi), revestimiento exterior (3 mm de polietileno tricapa según DIN 30670), velocidad de diseño 1.75 m/s, presión de impulsión total 350 m.c.a.

Estación de bombeo: dos estaciones de bombeo, una en la misma desaladora, al principio de la tubería, y una a lo largo de la tubería, aproximadamente en el punto intermedio de presión de impulsión entre origen y destino, incluyendo sendos estanques de reserva de 5000 m³ cada uno. Cada estación requerirá aproximadamente 1200 kW de potencia, y tendrá tres (3) bombas centrífugas con capacidad de 450 m³/h.



Consumo energético: para dicha impulsión se necesitara 2.16 kW/h por m³, que asumiendo un precio por kW/h de 15 centavos de USD, resulta un costo por m³ de USD 0.324.



4.5.2 Tanques de coagulación y floculación

Número de tanques: 6

Volumen de trabajo de cada tanque 140 m³

Volumen total de cada tanque: 170 m³

Tipo de equipo: células mecánicas de floculación de doble etapa, con agitación

Accesorios: bombas

4.5.3 Flotadores con aire disuelto (DAF)

Función: eliminar por flotación los flóculos formados en la etapa de coagulación-floculación, empleando burbujas de aire.

Número de tanques: 12

Volumen de trabajo: 70 m³

Volumen total: 90 m³

Flujo de aire: 3 m³ por m³ de agua. Tamaño de burbuja: de 10 a 100 micras.

Accesorios: sistema de agitación, con limpiador de espuma tipo skimmer mecánico.

4.5.4 Filtros de disco automáticos (ADF)

Función: eliminar sólidos en suspensión, con filtración de 200 micras.

Número de unidades: 12 baterías de filtros ADF

Accesorios: bombas centrifugas de alimentación, equipadas con variador de frecuencia

4.5.5 Ultra filtros

Función: separar del agua filtrada partículas, coloides, macromoléculas y patógenos tales como bacterias y virus y quistes.

Tamaño de membrana: con tamaño de poro de 0.1 a 0.01 micras.

Número: 18 baterías de ultrafiltración

Accesorios: sistema de lavado, válvulas de control de caudal.

4.5.6 Sistema de osmosis inversa

Función: separa el agua de mar purificada en agua desmineralizada y agua concentrada de sales

Sistema: 6 bastidores o trenes paralelos. Cada tren constara de 200 tubos de presión, cada uno con 8 elementos (membranas)

Accesorios: 3 bombas, 1 bomba para dos bastidores. Cada bomba con una batería de recuperadores de energía.

- Bombas de alimentación SWRO
- Bombas de alta presión SWRO
- Sistemas de recuperación de energía avanzado – PX
- Sistema de limpieza CIP para cada bastidor.

4.5.7 Unidad de remineralización

Función: agregar dureza de calcio y alcalinidad al agua desalada

Reactivos: lechos de calcita, dióxido de carbono

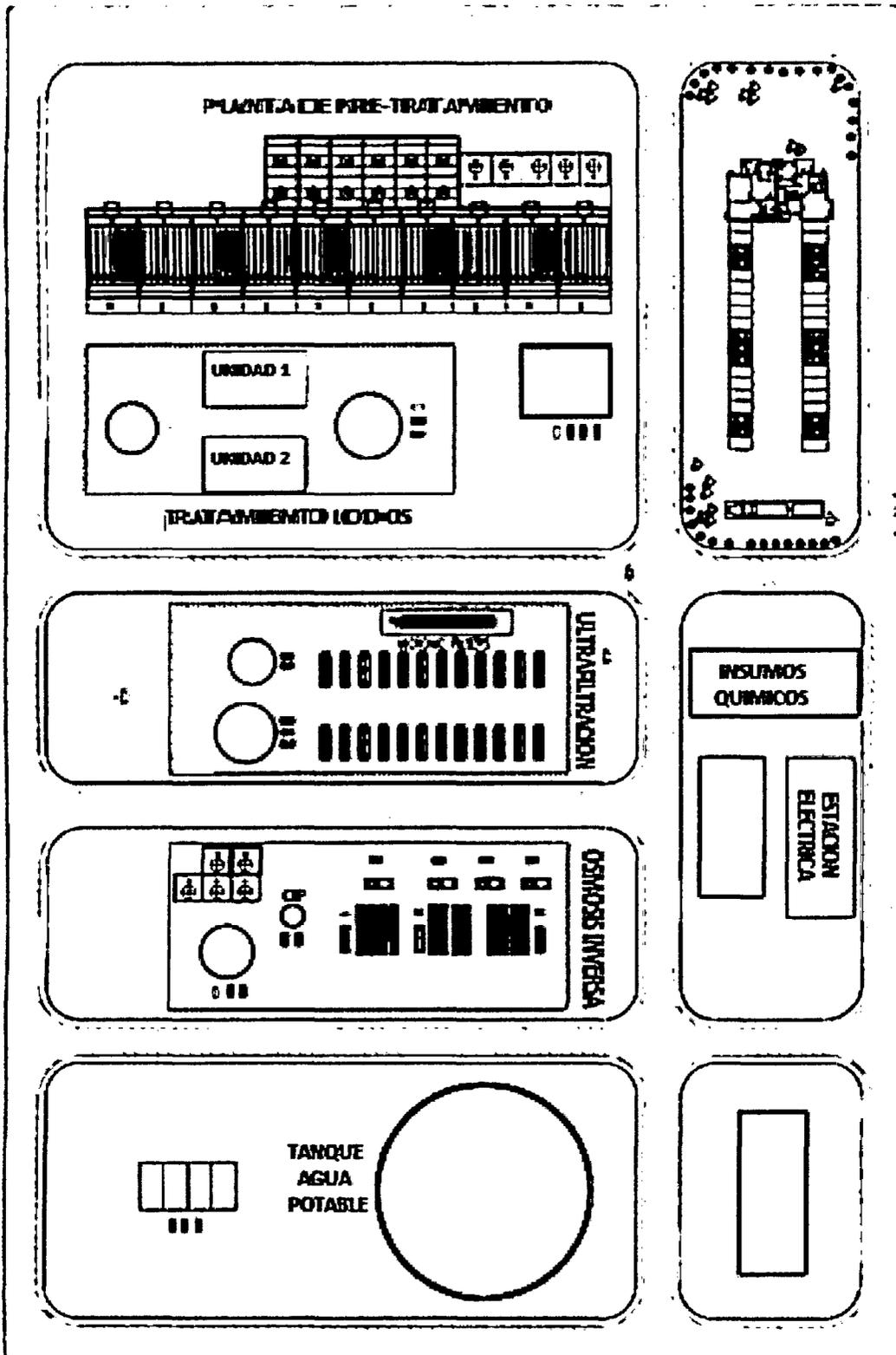
4.5.8 Tanque de agua producto

Función: almacenar el agua potable producida

Volumen de trabajo: 15000 m³

Volumen total: 18000 m³

4.6 DISTRIBUCION DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA



4.7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Como se ha indicado en la descripción detallada del proceso, la salmuera de la planta de osmosis inversa será almacenada en un estanque de salmuera dentro de las instalaciones de la planta. Esta fosa está conectada con tuberías terrestres y marinas a un sistema de difusores que lo dispersa en el agua de mar, favoreciendo su dilución y minimizando el impacto en el medio marino.

Todas las aguas de retrolavado tanto de los filtros rotativos como de la etapa de ultrafiltración, incluso de los lavados del sistema CIP serán recolectadas y se enviarán al tanque de recolección de salmuera, de donde se enviarán al mar.

Por otro lado los lodos que se recogen de la planta de flotación con aire, de los filtros de discos y de la ultrafiltración serán minimizados y se propone la instalación de una planta de tratamiento de lodos como parte del enfoque ecológico. Estos lodos concentrados y secos se pueden derivar a la agricultura.

Por lo tanto, el diseño de la planta provee las instalaciones necesarias para disminuir al máximo el grado de contaminación y minimizar el impacto en el lugar de la instalación.

5 ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO

Durante el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

La evaluación económica del presente proyecto obedece a la dinámica seguida por la mayoría de proyectos de Plantas de procesos de industria química. Según esto, se ha considerado dos aspectos importantes como la Estimación de la inversión total y Estimación del costo total de producción, para finalmente determinar la rentabilidad del proyecto.

Para las estimaciones se han usado los índices de Peters & Timmerhaus. Los costos han sido obtenidos **Matches**, institución que tiene actualizada para 2014 los precios de más de 275 equipos usados en la industria química.

5.1 ESTIMACION DE INVERSION TOTAL

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en **\$ 6358663**

La inversión total está constituida por el capital fijo total que asciende **\$ 4 907 583**; y un capital de trabajo u operación estimada en **\$ 1 451 079**

5.1.1 CAPITAL FIJO TOTAL

COSTO FIJO

El costo fijo es de **\$ 4 907 583** y está formado por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la planta.

❖ **COSTO DIRECTO O FÍSICO**

EL costo directo es **\$ 3 635 851** y está constituido por:

- Costo total del equipo de proceso instalado.

- Costo total del equipo auxiliar de proceso instalado.
- Costo total de tuberías y accesorios.
- Costo total de aislamiento para tubería y equipo.
- Costo total de instrumentación.
- Costo de instalaciones eléctricas.
- Costo de edificios.
- Costo de estructuras.
- Costo del equipo analítico de laboratorio.
- Costo de terreno y mejoras.

❖ **COSTOS INDIRECTOS**

EL costo indirecto es **\$1271732** y está constituido por:

- Costo de ingeniería y supervisión.
- Comisión para contratistas.
- Imprevistos.
- Costos de construcción
- Costo de seguros e impuestos

A. EQUIPO PRINCIPAL DE PROCESO

La estimación del costo de los equipos se realiza sobre la base de: Capacidad, características de diseño, tipo de material y información disponible sobre precios de los equipos para el año 2014 según la fuente Matches,

El costo de instalación de equipo resume: Costo de mano de obra y gastos de construcción; se determina el costo del equipo por los factores de instalación recomendados por Peters & Timmerhaus, realizando algunas disminuciones por lo que el sistema completo es modular.

El costo FOB de equipo principal llega a **\$1 150 000**.

EQUIPO AUXILIAR DE PROCESO

El procedimiento para determinar el costo del equipo auxiliar es similar al realizado para el equipo principal y se obtuvo un costo FOB de **200 250** dólares.

TOTAL EQUIPOS: El total de equipos principales y auxiliares, colocados en el Callao (precio CIF- 20%, porque algunos equipos se construirán en Pimentel) y puestos en la planta de Pimentel asciende a **\$1 630 427**

A. COSTO DE INSTALACION DE TODOS LOS EQUIPOS:

Se considera 30% del costo de los equipos puestos en la planta de Pimentel, es decir: **\$ 489 128**

B. TUBERIAS Y ACCESORIOS

La estimación de costos se realiza teniendo en cuenta dimensiones y material de construcción, incluye el costo de compra y de instalación. 15% del costo del equipo total. Llega a **\$ 244564**.

C. AISLAMIENTO TERMICO

Se obtuvo como valor de aislamiento de **\$18000**

D. INSTRUMENTACION Y CONTROL

Este renglón ha sido estimado según los costos unitarios de los principales equipos a usar en automatización de la planta. La planta es completamente automatizada. El costo es **\$40 511**

E. INSTALACIONES ELECTRICAS

Se estima de acuerdo a las recomendaciones dadas por P & T., siendo el 10% del costo de compra total del equipo puesto en Pimentel, se obtuvo un valor de **\$ 163 042.**

F. ESTRUCTURAS DE LA PLANTA

El costo de estructuras incluye los costos de cimentación para el área de proceso a precios locales, este rubro está incluido en el costo de instalación de equipo principal y auxiliar.

G. EDIFICIOS

Constituido por los gastos de mano de obra, materiales y suministros para la construcción de todas las áreas edificadas de la planta.

La estimación es basándose en los precios que rigen las construcciones en el Perú, el costo es de **\$ 293 476.**

H. TERRENOS Y MEJORAS

El costo del terreno se ha estimado teniendo en cuenta el lugar y ubicación de la planta, comprende los costos de: preparación del terreno, asfaltado, veredas, sardineles y cercado de la planta. Se considera 10% del costo de todo el equipo.

El valor del terreno para nuestra planta es de **\$ 163 042.**

COSTOS DIRECTOS TOTALES

Es la suma del costo del equipo de la planta, más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios. Alcanza un valor de dólares de **\$ 3 635 851**

I. INGENIERIA Y SUPERVISION

Por ser un sistema modular, se considera el 10% del costo total de la planta puesta en Pimentel. El valor asciende a **\$ 163 042**.

J. COSTO DE LA CONSTRUCCION: se considera 30% del costo total de la planta. Asciende a **\$489 128**.

K. COSTO DE SEGUROS E IMPUESTOS DE LA CONSTRUCCION: por estar dentro de la cervecería se considera solo el 3% del costo del todo el equipo. Asciende a **\$48 913**.

L. COMISION PARA CONTRATISTAS

Este renglón considera el 5% del costo físico de la planta, **\$81 521**.

M. IMPREVISTO

Se ha considerado, **\$489 128**, con la finalidad de subsanar cualquier eventualidad que demande el gasto y que no se haya considerado dentro del costo de construcción de la planta. Se estima como el 30% del costo total de la planta.

COSTOS INDIRECTOS TOTALES

Es la suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas y gastos imprevistos. Alcanza la suma de **\$1 271 732**.

INVERSION DE CAPITAL FIJO

Es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales. Llega a **\$ 3 635 851**.

5.1.2 CAPITAL DE PUESTA EN MARCHA O CAPITAL DE TRABAJO

Este renglón abarca los gastos efectuados para realizar pruebas y reajustes del equipo del proceso antes de la operación comercial de la planta. Como período de puesta en marcha se considera que no excederá los tres meses. Se calculó un capital de **\$1 451 079**.

Se considera que se va procesar en forma continua, los 365 días del año. Este rubro está constituido por los siguientes ítems:

- a) **Inventario de materia prima:** se considera compra para un mes de materia prima. Alcanza la suma de **\$331 307**.
- b) **Inventario de materia en proceso:** se considera un día del costo total de producción. En promedio es **\$250 000**.
- c) **Inventario de producto en almacén:** el producto se vende dentro de la misma planta, por eso motivo solo se considera costo de 6 días de producción. El valor alcanzado es **\$125 000**.
- d) **Cuentas por cobrar:** equivale a un mes de ventas. Pero por los motivos expuestos en el ítem anterior llega a **\$640 000**.
- e) **Disponibilidad en caja:** sirve para pagar salarios, suministros e imprevisto. Se considera 8 días de producción. Ascende a **\$100 000**.

LA INVERSION TOTAL: es la suma de capital fijo más el capital de trabajo, y alcanza el valor de **\$6 358 662**.

5.1.3 ESTIMACION DEL COSTO DE FABRICACION

El costo total de fabricación está constituido por el costo de manufactura y los gastos generales. El costo total anual es de **\$ 5 553 979** cuando la planta opera al 100% de su capacidad instalada.

A. COSTO DE MANUFACTURA

Este renglón incluye:

- Costo directo de manufactura.
- Costos indirectos.
- Costos fijos.

COSTO DIRECTO DE MANUFACTURA

Constituido por los costos de materia prima, mano de obra, supervisión mantenimiento y reparación de la planta, suministros para las operaciones y servicios auxiliares. El costo asciende a **\$4 837 369**.

a. MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada para la producción de agua potable, incluye el costo de bombear el agua de mar a la planta de osmosis, el costo de reactivos químicos y el costo de reposición de membranas. El costo total asciende a **\$ 4 030 903**.

b. MANO DE OBRA

La operación de la planta requiere de obreros repartidos en tres turnos de 8 horas cada uno, este número de operarios ha sido estimado por el método Wessel, el cual se basa en el número de pasos principales del proceso, capacidad de producción y el grado de automatización.

El costo de mano de obra por año asciende a **\$140 400**.

c. SUPERVISION E INGENIERIA

En este renglón se considera todo el personal comprometido con la supervisión directa de las operaciones de producción de las distintas instalaciones, el costo de supervisión e ingeniería es de **\$ 28 080**.

d. MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

Están comprendidos los gastos que se requieren para mantener la planta en óptimas condiciones de operación, y se estima como el 10% del capital fijo que es **\$ 490 758.**

e. AUXILIARES Y SERVICIOS

Se considera los gastos por conceptos de lubricantes, pintura, materiales de limpieza, agua, energía eléctrica, etc. para su estimación se ha considerado el 15% del costo anual de mantenimiento, cuyo costo es de **\$ 73 614.**

COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Comprende los gastos de laboratorio, cargas a la planilla y los gastos generales de la planta. Ascende a **\$ 786 24.**

a. CARGAS A LA PLANILLA

Constituye todos los gastos por concepto de beneficios sociales. Se ha considerado como el 21% (**\$29 484**) de la suma de los Costos de mano de obra y supervisión.

b. LABORATORIO

Comprende los costos de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de calidad del producto, así como también las remuneraciones por supervisión.

Costo: 20% del costo de mano de obra. Ascende a **\$28 080.**

c. GASTOS GENERALES DE LA PLANTA

Lo conforman gastos destinados a satisfacer servicios, tales como: asistencia médica, protección de la planta, limpieza, vigilancia, servicios recreacionales, etc. Se ha estimado como el 15% del costo de mano de obra. Ascende a **\$21 060.**

COSTOS FIJOS DE FABRICACION

Los costos fijos son independientes del volumen de producción de la planta, están formados por la depreciación, impuestos y los seguros. El total asciende a **\$ 637 986**.

a. DEPRECIACIÓN

El capital sujeto a depreciación es el capital fijo total excluyendo el costo del terreno. Para determinar se ha considerado el 10% del capital fijo **\$ 490 758**.

b. IMPUESTOS

El pago de impuestos a la propiedad para zonas poco pobladas se considera el 2% del capital fijo total, **\$ 98 152**.

c. SEGUROS

Se ha considerado el 2% del capital fijo total, **\$ 49 076**.

5.1.5 GASTOS GENERALES (VAI)

Comprende los gastos realizados por concepto de: administración, ventas y distribución, investigación y desarrollo. Y se ha tomado como el 6% de las ventas totales, **\$137 805**.

a. ADMINISTRACION

Comprende los gastos por derecho de salarios de funcionarios, contadores, secretarias, así como los gastos de gerencia de actividades administrativas. Se estima como el 10% del costo de la mano de obra, supervisión y mantenimiento. Asciende a **\$25 908**.

b. VENTAS Y DISTRIBUCIÓN

Incluye los costos por derecho de publicidad para la venta del producto, así como los gastos para la distribución. Se estima como el 10 % del costo fijo de fabricación. Asciende a **\$89 585**.

c. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Este renglón está encaminado a mejorar la calidad, proceso y en general para abaratar los costos de producción. Se estima como el 2% de la mano de obra, **\$22 312**

COSTO TOTAL DE FABRICACION: Es igual a la suma del costo de fabricación y los gastos generales (VAI). Ascende a **\$ 5 691 784**.

COSTO UNITARIO: la producción 10000 m³ por día lo cual significa 3 650 000 m³ al año, por lo tanto el costo unitario es de **1.5594 dólares/m³**. Al cambio de 2014 el costo unitario llega a 4.68 nuevos soles el m³.

5.1.6 BALANCE ECONÓMICO Y RENTABILIDAD

En el análisis de la rentabilidad del proyecto se considera el precio de venta en \$2.5 por m³ de agua potable.

A. RETORNO SOBRE LA INVERSION

Antes de Impuesto

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades antes de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión antes de los impuestos obtenidos es de **46.53%** , lo que demuestra la factibilidad económica del proyecto

Después del Impuesto.

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades después de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión después de impuestos obtenidos es de **31.61%** , lo que demuestra nuevamente la factibilidad económica del proyecto

B. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Es el tiempo expresado en años, en que se recupera la inversión de capital fijo, operando la planta al 100% de su capacidad instalada.

El tiempo de repago antes de impuestos es de **1.62 años** y después de impuestos es de **2.03 años**.

D. PUNTO DE EQUILIBRIO

Es el nivel de producción, en el cual no se obtiene ni pérdidas ni ganancias.

Según los cálculos realizados el punto de equilibrio es 19.92% de la capacidad total de la planta.

CUADRO 5.1 INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO					
1.1	Capital Fijo Total				\$4907583
	1.1.1	Costos Directos		\$ 3635851	
		a. Costos de Equipo instalado	\$ 489128		
		b. Costo de tuberías y accesorios	\$ 244564		
		c. Costo de aislamiento térmico	\$ 18000		
		d. Costo de Control por instrumentación	\$ 40511		
		e. Costo de auxiliares y servicios	\$ 163042		
		f. Costo de instalaciones eléctricas	\$ 163042		
		g. Costos de edificios	\$ 293476		
		h. Costo de terrenos y mejoras	\$ 163042		
	1.1.2	Costos Indirectos		\$1271732	
		a. Costo de Ingeniería y Supervisión	\$ 163042		
		b. Costos de construcción	\$489128		
		c. Costo de honorarios para contratistas	\$ 81521		
		d. Gastos imprevistos	\$ 489128		
		e. Costo seguros e impuestos	\$ 48913		
1.2	Capital de trabajo				\$1451079
	1.2.1	Inventario de materia prima		\$331307	
	1.2.2	Inventario de materia en proceso		\$ 25000	
	1.2.3	Inventario de producto		\$ 125000	
	1.2.4	Cuentas por cobrar		\$ 64000	
	1.2.5	Disponibles en caja		\$ 100000	
INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO					\$6358662

**CUADRO 5.2
COSTO TOTAL DE
FABRICACIÓN**

1.1	Costos de fabricación	\$ 5553979
1.1.1	Costo directo de fabricación	\$4837369
	a. Costo de materia prima	\$ 4030903
	b. Costo de mano de obra	\$ 140400
	c. Costo de supervisión e ingeniería	\$ 28080
	d. Costo de mantenimiento	\$ 490758
	f. Costo de auxiliares y servicios	\$ 73614
	g. Costo de suministros de operación	\$73614
1.1.2	Costos indirectos de fabricación	\$ 78624
	a. Carga a planillas	\$ 29484
	b. Gastos de laboratorio	\$ 28080
	c. Gastos generales de planta	\$ 21060
1.1.3	Costos fijos de fabricación	\$ 637986
	a. Depreciación	\$ 490758
	b. Impuestos	\$ 98152
	c. Seguros	\$ 49076
1.2	Gastos generales	\$ 137805
	1.1.2 Gastos V.A.I	\$ 137805
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN		\$5691784
TOTAL DE UNIDADES PRODUCIDAS POR		
AÑO	3'650'000	m³ de agua
COSTO UNITARIO DEL PRODUCTO	1.5594	\$ / m³

**CUADRO 5.3
ESTADO DE PERDIDAS Y
GANANCIAS**

Producción anual	3650000	m ³
Precio de venta por unidad	2.5	\$/m ³
Ingreso neto de ventas anuales	9125000	\$
Costo total de fabricación (producción)	5691784	\$
Utilidad Bruta	3433216	\$
Impuesto a la renta (30 %)	792281	\$
Utilidad neta	2640936	\$

Ingreso neto de ventas anuales = Producción anual * Precio de venta unitario

Utilidad Bruta = Ingreso Neto de Ventas Anuales - Costo Total de Fabricación

Utilidad Neta = Utilidad Bruta - Impuesto a la Renta.

CUADRO 5.4
ANÁLISIS ECONÓMICO

	Valor	Aceptable
a. Retorno sobre la Inversión antes del pago de impuestos	46.53%	> 35 %
b. Retorno sobre la Inversión después del pago de impuestos	31.61%	> 12 %
c. Tiempo de recuperación del dinero	1.62	< 5 años
d. Punto de equilibrio	19.92%	< 50%
e. Relación beneficio - costo	0.21	-----



VI. CONCLUSIONES

- Al finalizar este proyecto se concluye que es rentable y el retorno sobre la inversión es de 46.53% antes de impuestos, y de 31.61% después de impuestos; lo que conlleva a asegurar que es factible de instalar una planta de agua potable a partir de agua de mar en Pimentel.
- Que existe un mercado asegurado para el consumo del producto, puesto que habrá escases de agua y la población de Pimentel esta en continuo crecimiento..
- Que técnicamente es factible y se puede procesar el agua de mar utilizando osmosis inversa para la obtención de agua potable, sin perjudicar el medio ambiente.
- La **factibilidad económica** de la planta se interpreta con los siguientes indicadores:
 - La inversión total para la instalación de la planta de osmosis inversa de agua de mar es \$6358662.
 - Punto Equilibrio del proyecto 19.92%.
 - Tiempo de recuperación de la inversión 1.62 años antes de impuestos
 - La tasa de retorno sobre la inversión es de 31.61 % después de los impuestos.
 - El precio costo por m³ es de \$ 1.5594
 - El precio de venta por m³ es de \$ 2.5.
- La planta estará al cuidado del medio ambiente, respetando la norma vigente.
- Se producirá agua potable para consumo humano.
- Nuestro precio de venta es aceptable para competir en el mercado.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar la planta de agua potable por osmosis inversa del agua de mar en el distrito de Pimentel.
- Se recomienda cumplir con las recomendaciones de operación para no contaminar los alrededores de la planta.
- Se recomienda mezclar el agua obtenida por osmosis con el agua potable de EPSEL.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- **ALAWADHI A. A.; 1999.** Regional Report on Desalination. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
- **AL-SHAMMIRI, M.; 1999.** Multi-effect Distillation Plants: State of the Art. Desalination 126, pp. 45-99.
- **AMYLUM IBERICA, S.A., 2010.** La ósmosis inversa como sistema para reducir el consumo de agua en el proceso productivo de almidones y glucosas. Catalogo Aragonés de Buenas Prácticas Ambientales.
- **AQUA ADVISE. 2012.** Estudio de Plantas Desaladoras para Consumo Humano. Informe Final. Provincia de Copiapo y Comuna de Chañaral. Chile.
- **BACA URBINA, GABRIEL, 2011.** "Evaluación de Proyectos". Tercera Edición-McGraw Hill-México.
- **BUROS O.K.; 2000.** The ABCs of Desalting. International Desalination Association
- **CPI. 2012.** Market report: Perú, Población 2012. Compañía peruana de estudios de mercado y opinión pública. Lima, Perú.
- **ECOAGUA INGENIERIOS S.L., 2009.** Artículos Técnicos – Desalación mediante Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.). Docum.: ART_TEC-001. Date: 18/abril/2009.
- **FUNDACIÓN M.J. BUSTAMANTE DE LA FUENTE, 2010.** Cambio climático en el Perú – Regiones del Sur. Lima, Perú.
- **GARCIA R.L.; GOMEZ C.C.; 2001.** Perspectives of solar-assisted seawater distillation. Desalination 126, 213-218.
- **INICAM- Instituto de Investigación y Capacitación Municipal. 2013.** Diagnostico urbano de la provincia de Chiclayo. PROMCAD _ Asociación Promoción y Capacitación para el Desarrollo.
- **LATICE – Latinoamérica en el Centro. 2009.** Cuánta agua tiene el planeta – porque hay que cuidarla. www.latice.org.
- **MINAG. 2013.** Recursos Naturales - Uso y manejo de agua. Lima, Perú.
- **MINSA. 2010.** Reglamento DE LA Calidad del Agua para Consumo Humano. Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud, Lima, Perú.

- **NUEVATRIBUNA.ES. 2014.** ¿Es la desalación el futuro del agua? Red Social Libros. España.
- **PAICO SOPLAPUCO O. 2013.** Abastecimiento de Agua Potable en Chiclayo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque.
- **SAPAG NASSIR, 2005.** “Fundamentos de Preparación y Evaluación de Proyectos”. Edit. McGraw Hill-México.
- **SOSA HENRIQUEZ PEDRO. 2006.** Características físico-químicas del agua de mar. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España.
- **TECNOLOGIA-PROYECTA, 2012.** Plantas desalinizadoras: El Mar Como Fuente de Agua Potable. Lima, Perú.
- **TORRES C. M.; 2004.** Avances Técnicos en la Desalación de Aguas. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Ambienta, octubre 2004.
- **UNITEK, 2013.** Ingeniería en Tratamiento de agua: Desalinización de agua de mar. Lima, Perú.
- **URS AUSTRALIA, 2002.** Introduction to Desalination Technologies in Australia. A report prepared for the Department of Agriculture, Fisheries & Forestry, Australia Government. See: www.daff.gov.au/content/publications.cfm.
- **VALERO A.; UCHE J.; SERRA L.; 2001.** La desalación como alternativa al PHN. CIRCE- Universidad de Zaragoza.

