



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Sistema de tratamiento de
aguas mediante osmosis
inversa**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Mauro Solis Vázquez-Mellado

ASESOR DE INFORME

M. en I. Edgar Ali Ramos Gómez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Nombre de la Empresa

Procter & Gamble Co.



Procter&Gamble

Objetivos

- Implementar un sistema de Osmosis de Desalinización de Circuito Cerrado (CCD RO), *Closed Circuit Desalination Reverse Osmosis*, en la empresa: *Procter & Gamble* en la Planta industrial de Vallejo.
- Entregar ahorros económicos a través de la reducción de costos operativos derivados de la mejora del uso del agua en la planta

Alcances

- Realización del análisis de los flujos de agua de la planta
- Dimensionado de los equipos y materiales para la instalación del sistema en la planta
- Dirección de compañías de construcción e ingeniería
- Control de costos del proyecto y el tiempo de ejecución

Índice

Índice	3
Tabla de figuras	4
Resumen	5
1 Introducción y antecedentes	6
1.1 Problemática del agua mundial	6
1.2 Agua en México	7
1.3 Osmosis inversa	9
1.4 Historia de la osmosis inversa	10
1.5 Factores importantes.....	10
1.6 Sistemas de tratamiento complementario para una osmosis inversa	11
Filtros de arena	11
Suavizadores	12
Filtros de carbono	13
Lámparas UV	14
Coagulación – Floculación.....	14
1.7 Diferencia entre Osmosis inversa convencional y una Osmosis inversa CCD	15
2 Descripción de la empresa	19
2.1 Misión	20
2.2 Visión	21
2.3 Estructura de la empresa y marcas comerciales	21
2.4 P&G en sustentabilidad	22
3 Descripción del puesto de trabajo.....	23
4 Descripción del proyecto	25
4.1 Mapa de agua de la planta	25
4.2 Visita de Campo y revisión de Tecnología	27
4.3 Solución propuesta	29
4.4 Pretratamiento	30
Filtros de arena	31
Suavizadores	31
4.5 Ciclo de calidad	31

5 Resultados	34
6 Conclusiones.....	36
7	38
Bibliografía.....	38
8 Anexos	40

Tabla de figuras

Figura 1. Modelo del funcionamiento de la presión osmótica (DAVIS 2016)	9
Figura 2. Filtro de arena con múltiples tipos de arena para la filtración del flujo (STF 2017) ...	12
Figura 3. Diagrama del funcionamiento del suavizador y el sistema de regeneración por salmuera para su funcionamiento (American Water Works Association, American Society of Civil Engineers 1969)	12
Figura 4. Distintos tipos de carbón activado para el tratamiento de agua (Agua 2016)	13
Figura 5. Lámpara UV Atlantium de media presión alta intensidad en cámara de cuarzo (Atlantium 2016)	14
Figura 6. las imágenes muestran los distintos pasos del proceso de coagulación floculación y el cambio en apariencia del agua (ecotechafrica 2017)	15
Figura 7.La imagen muestra los tipos de desgaste por cada membrana en una etapa de osmosis inversa.	16
Figura 8. Típico arreglo en serie de equipos de osmosis inversa para alcanzar recuperaciones superiores al 70% (Desalitech 2015)	16
Figura 9. Arreglo del sistema de Osmosis CCD, donde se muestra el circuito de agua y la tubería de purga (Desalitech 2015).....	17
Figura 10 Caída de presión en sistemas de osmosis (Desalitech, 2015)	18
Figura 11. El Ivory soap es el jabón que impulso a Procter & Gamble en su inicio y a la fecha es producido	19
Figura 12. Plano de la planta con propuesta de conexiones.....	26
Figura 13. Mapa de agua de la planta antes del proyecto	27
Figura 14. Tina receptora de agua para tratar por la CCD RO foto tomada en la visita.....	28
Figura 15. Muestra de agua posterior al clarificado, el color rosa señala presencia de Manganeseo	29
Figura 16. Diagrama básico del acomodo del nuevo sistema de tratamiento de agua	30
Figura 17. Tabla de Calidad de agua esperada con el proyecto y agua de entrada	32
Figura 18. Ciclo de mejora de la calidad de agua en el sistema de agua de la planta	33

Resumen

Este proyecto tiene como objetivos la reducción del consumo de agua y la disminución de la descarga de agua residual de la planta Vallejo de *Procter & Gamble* (P&G), logrando a su vez un ahorro económico que, adicional a compensar la inversión de capital y los gastos de operación, logre ahorros sustanciales en el costo de producción y deje sentadas las bases para una fácil replicación en otras plantas.

A mediados del 2015 se propuso destinar fondos para la creación de un mapa de agua de la planta y la evaluación de un proyecto de ahorro de agua. Al terminar la evaluación, 6 meses después, se concluyó que la mejor solución técnica era la implementación de una nueva tecnología para tratamiento de agua conocida como Osmosis Inversa de Circuito Cerrado de Desalinización CCD RO *Closed Circuit Desalination Reverse Osmosis*.

Para mostrar un contexto adecuado de la tecnología de CCD RO, se presentará un breve resumen de las tecnologías más usadas en la industria para el tratamiento de agua profundizando en la osmosis inversa y su historia.

Para el desarrollo del proyecto se realizaron diversas actividades, las cuales serán descritas al igual que sus implicaciones en el diseño del sistema.

Este proyecto resulta de alta importancia por la creciente escasez de agua en México y globalmente. La solución implica un compromiso para empresas y los ingenieros que se consideran socialmente responsables, esta problemática se explicara en el siguiente capítulo.

1 Introducción y antecedentes

1.1 Problemática del agua mundial

Reportes de la ONU respecto al agua estiman que, de continuar el uso actual del agua, para el 2030 el déficit global de agua afectará directamente al 40% de la población. (United Nations 2016)

Más del 80% del agua residual a nivel mundial se regresa al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento. Este número incrementa hasta el 95% en países en vías de desarrollo (United Nations 2015). Como consecuencia, al menos 800 mil muertes al año son causadas por beber agua contaminada y por la falta de servicios públicos que permitan mantener condiciones básicas de higiene.

En los últimos 50 años el área equipada para irrigación se ha duplicado, la cantidad de ganado se ha triplicado y las acuicultura ha crecido arriba del 2000%, estas actividades representan el 70% del agua usada globalmente. La migración de la población del campo a las ciudades continúa aumentando, actualmente más de la mitad de la población mundial vive en ciudades, lo cual incrementa la escasez de agua.

Generalmente el re-uso de agua tratada encuentra fuerte resistencia pública debido a una falta de conciencia e información respecto a la seguridad y los riesgos de salud implicados. De manera similar el tratamiento de agua es normalmente considerado costoso y de capital intensivo.

Sin embargo, el costo de inversión inadecuada o insuficiente en el tratamiento de agua residual es mucho mayor cuando se ponen en consideración los daños directos e indirectos a la salud, la reducción del desarrollo socioeconómico y el impacto ambiental.

Diversos reportes muestran que la mejora en el manejo del agua tratada depende de 4 factores críticos:

- Reducción de contaminación en la fuente de agua
- Remoción de contaminantes en los flujos de agua
- Re-uso de agua residual
- Recuperación de los sub productos útiles con el tratamiento de agua residual.

La creciente crisis de agua debe ser combatida incrementando la conciencia pública respecto a la seriedad, impacto y consecuencias de la crisis, así como el desarrollando proyectos que mejoren el manejo del agua residual en la industria y a la vez reduzcan los costos asociados a la descarga del agua residual.

El agua es un componente esencial de las economías nacionales y locales, y es necesaria para crear y mantener los puestos de trabajo en todos los sectores de la economía. Cerca del 50%

de la mano de obra mundial está empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: (United Nations 2017)

- Agricultura
- Bosques
- Pesca
- Energía
- Producción con uso intensivo de recursos
- Reciclaje
- Construcción
- Transporte.

La gestión y mejora sostenible de la infraestructura para el tratamiento de agua y agua residual, así como el acceso a un suministro seguro, fiable y asequible de agua y servicios de saneamiento adecuados mejoran el nivel de vida, expanden las economías locales y promueven la creación de empleos dignos y una mayor inclusión social. En contraste, dejar de lado la crisis y las prioridades de infraestructura necesaria para el manejo del agua aumentan el riesgo de causar un grave impacto negativo en la economía, los modos de vida y las poblaciones, con unos resultados potencialmente catastróficos y extremadamente costosos.

El nexo entre el agua y el empleo es innegable, y es un requisito indispensable para el desarrollo sostenible tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Es de suma importancia que se tomen políticas adecuadas que permitan y alienten a la industria a mejorar los sistemas de tratamiento de agua y agua residual.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), alrededor de 750 millones de personas a nivel mundial carecen de acceso adecuado al agua. En el reporte del 2016, se estima también que la cifra aumentará a 2,900 millones de personas para el 2030, casi una tercera parte de la población mundial (United Nations 2016).

1.2 Agua en México

En México la situación es especialmente crítica debido a la amplia gama de los climas en diversas áreas del país, que ocasionan fuertes inundaciones en el sureste y abismales sequías en el norte. De igual forma, una situación más compleja se presenta en la capital debido a la alta densidad de población, que representa cerca del 20% de la población.

En el sur del país, las inundaciones son constantes y la falta de infraestructura para controlar estas inundaciones resulta en pérdidas económicas serias y a la vez la falta de tratamiento y contención no permite el aprovechamiento total del agua, ni como fuente de energía ni como recurso. El norte del país es víctima de sequías constantes que dañan a la población y a

diversos sectores económicos. En el centro del país, donde cerca de una quinta parte de la población de México radica, hay una sobreexplotación del manto acuífero, pérdidas serias por fugas en las tuberías del sistema de agua (con estimado del 30% del agua que se produce) (Rangel, 2016), y el sistema principal de suministro y tratamiento de agua (sistema Cutzamala) es insuficiente, al igual que el sistema de drenaje, cuyas fallas o insuficiencias ocasionan inundaciones constantes. A pesar de todos estos problemas, la legislación en México al día de hoy no promueve el ahorro de agua en la industria y mucho menos en la vivienda. No hay un mecanismo claro que apoye o modifique el cobro de derechos de extracción de agua de pozos en la Ciudad de México, lo cual ocasiona que la inversión de capital para proyectos sustentables de reducción de agua sea difícil de justificar.

La legislación actual establece un máximo de consumo anual de agua que puede ser explotado por una persona física o moral a través de una concesión de derechos de agua. El agua usada en esta concesión se paga con una tarifa establecida en la Ley Federal de Derechos (disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2017). Esta ley establece en el artículo 3° que “El pago de los derechos que establece esta Ley deberá hacerse por el contribuyente previamente a la prestación de los servicios o previo al uso, goce, explotación o aprovechamiento de bienes de dominio público de la Federación, salvo los casos en que expresamente se señale que sea posterior” debido a esto se deben pagar la totalidad de los derechos máximos permitidos en la concesión. Eliminando así el incentivo económico para una reducción de consumos de agua. (Comisión nacional del agua 2017)

La Comisión nacional del agua establece que: De haber un proyecto sustentable que reduzca la cantidad de agua usada en dentro de los parámetros de concesión de una planta, la cantidad de agua reducida será exenta de tarifas de concesión; sin embargo, no hay mecanismos que definan los pasos para probar una reducción en el consumo, resulta imposible capitalizar un ahorro.

El único mecanismo claramente establecido para la reducción de costos es la del drenaje industrial. En México los drenajes pueden dividirse en Pluvial, Municipal e Industrial. Los drenajes pluviales, como su nombre lo indica, contienen agua de lluvia, a menudo estos drenajes son redirigidos a ríos o lagos o mezclados con otro tipo de drenaje. Los drenajes municipales contienen el agua descartada por el uso doméstico o de personal, en las plantas es separado del resto de los flujos y no constituye un gasto. Por último el drenaje industrial es aquel destinado a las descargas industriales y el costo del agua descargada es cuantificado por metros cúbicos a un precio establecido en el Artículo XIV de la ley federal de Aguas. (Comisión nacional del agua 2017). Ya que estos drenajes a menudo son enviados a ríos o lagos, el agua enviada al drenaje debe cumplir con la calidad del agua descrita en la NOM 15 adjunta en el ANEXO A.

Es claro que para mejorar la situación del país en cuestión de agua, debe haber una mayor y mejor integración entre la legislación que regula y estimula el consumo responsable del uso del agua y los mecanismos tecnológicos que permiten alcanzar esta meta.

1.3 Osmosis inversa

La osmosis es el fenómeno por el cual un solvente pasa a través de una membrana semipermeable de una disolución diluida a una concentrada para lograr un equilibrio iónico entre ambos lados de la membrana. En la naturaleza, este fenómeno se manifiesta en las paredes celulares, que regulan la hidratación de la célula y el intercambio iónico entre la célula y el espacio intersticial. La osmosis inversa es el proceso de transferir solvente a través de una membrana semipermeable desde una disolución concentrada a una diluida.

La mayor parte de la energía en un sistema de osmosis inversa es usada para la bomba de agua que hace fluir el agua por las membranas y vence la *presión osmótica* necesaria para hacer fluir el agua a través de la membrana semipermeable.

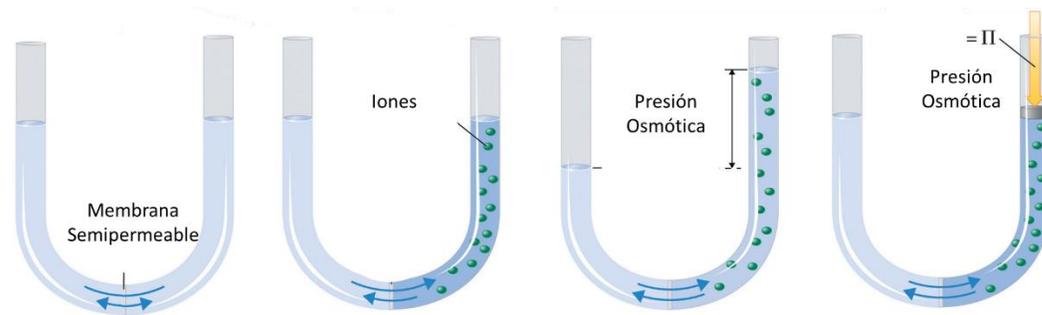


Figura 1. Modelo del funcionamiento de la presión osmótica (DAVIS 2016)

Para comprender la presión osmótica, consideremos un recipiente con agua en forma de “U” y una membrana semipermeable en medio del contenedor. El nivel del agua en ambos lados del contenedor será igual. Si añadimos sales a un lado del contenedor el agua fluirá a través de la membrana semipermeable para establecer un equilibrio iónico entre los dos lados del recipiente. La presión diferencial de la columna de agua formada por este proceso es llamada presión osmótica. También podemos definir esta presión como la presión requerida para restablecer el nivel de ambos lados del contenedor forzando agua a través de la membrana semipermeable.

La presión osmótica se calcula a partir de la siguiente formula

$$\Pi = MRT$$

Π es la Presion Osmotica (Pa)

M es la concentración en $\left(\frac{mol}{m^3}\right)$

R es la constante universal de los gases $8.316 \left(m^3 \cdot \frac{Pa}{K} \cdot mol\right)$

T es la Temperatura (K)

1.4 Historia de la osmosis inversa

El proceso de ósmosis a través de membranas semipermeables fue observado por primera vez en 1748 por Jean Antoine Nollet al colocar una membrana de vejiga animal entre alcohol y agua. Nollet observó que el agua fluía a través de la vejiga para mezclarse con el alcohol, pero de ninguna manera el alcohol se mezclaba con el agua.

La vejiga animal actúa como una membrana semipermeable que permite el paso de uno de los componentes de una solución y evita la difusión de otros.

La explotación del proceso de osmosis no se dio hasta 1949, cuando la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA) investigó por primera vez la desalinización de agua de mar mediante membranas semipermeables. A mediados de la década de 1950, investigadores de UCLA y la Universidad de Florida produjeron con éxito agua dulce a partir de agua de mar. Para finales de 2001, unas 15,200 plantas de desalinización se encontraban en funcionamiento o en fase de planificación en todo el mundo, sin embargo la tecnología de osmosis inversa no ha cambiado significativamente desde los años 50. (Glater 1998)

Las membranas de osmosis actuales están constituidas de capas delgadas de poliamidas sobre polietereos porosos y un material fibroso. El diseño y composición de las membranas se realiza de acuerdo al tipo de agua que tratarán.

1.5 Factores importantes

Los factores más influyentes que pueden cambiar la operación de un equipo de osmosis inversa y por consecuencia su eficiencia son:

- pH – El pH del agua afecta cuán soluble son algunos de los compuestos que están presentes en el agua.
- Temperatura – La temperatura está directamente relacionada con la viscosidad del agua, y con la capacidad de disolución que tendrá. A mayor temperatura del agua

menor la viscosidad y mayor la capacidad disolutiva, hasta un punto, ya que las membranas están hechas de polímeros que pueden sufrir alteraciones a altas temperaturas. La temperatura máxima promedio de operación de una osmosis es de 40°C

- Viscosidad – La viscosidad del agua depende en gran parte de la temperatura y de los elementos disueltos en ella, a mayor viscosidad la presión de operación deberá incrementar y así la energía usada será mayor.
- Solubilidad máxima – En aguas con concentraciones altas de un compuesto, el porcentaje de eficiencia se ve limitado por éste, ya que el agua alcanzará el punto de solubilidad máximo de ese compuesto a un porcentaje bajo de recuperación. Por este motivo se debe controlar el pH y la temperatura para maximizar la saturación de los componentes. Adicionalmente en la operación de la RO se utilizan sustancias llamadas antiescalantes que ayudan a incrementar la solubilidad del agua y a prevenir incrustaciones en las membranas de la osmosis.

Estos factores deben ser controlados y considerados en el diseño de un sistema de osmosis inversa, así como en el mantenimiento y operación del sistema.

1.6 Sistemas de tratamiento complementario para una osmosis inversa

Este trabajo está centrado en el tratamiento de agua por Osmosis inversa, sin embargo, debido a los requerimientos de calidad de agua de la osmosis es inusual que sean instaladas sin un pretratamiento, y generalmente tratamientos adicionales son requeridos. A continuación se presentarán otros sistemas de tratamiento de agua que complementan o en ocasiones pueden sustituir a la osmosis inversa.

Filtros de arena

Dependiendo del tipo de filtración se pueden colocar distintos sustratos, como arena verde, turbidex, o grava. La composición del filtro y la calidad del agua también regularán la frecuencia de retro-lavado. El retro-lavado es el paso de flujo de agua en contraflujo normal para descargar las impurezas absorbidas por la arena



Figura 2. Filtro de arena con múltiples tipos de arena para la filtración del flujo (STF 2017)

Suavizadores

Como su nombre lo sugiere, los suavizadores utilizan resinas para suavizar el agua que tratan, son usados frecuentemente en las calderas, ya que la dureza del agua puede causar serios problemas de mantenimiento.



Figura 3. Diagrama del funcionamiento del suavizador y el sistema de regeneración por salmuera para su funcionamiento (American Water Works Association, American Society of Civil Engineers 1969)

La resina de los suavizadores debe ser regenerada con salmuera, ya que el proceso por el cual funcionan los suavizadores es por intercambio iónico, intercambiando sodio por calcio y magnesio.

Filtros de carbono

Los filtros de carbono usan carbón activado para remover impurezas en el agua a través de absorción química. Los filtros de carbono son ampliamente usados en la industria alimenticia ya que, aun en falla, no añaden impurezas perjudiciales para el consumo humano. También son usados en la producción de bebidas alcohólicas como Vodka.

El carbón activado funciona a través de las fuerzas Van der Waals, las placas del carbón activado inducen la formación de dipolos en las moléculas orgánicas, lo que genera que las moléculas se atraigan y permanezcan juntas y por lo tanto se precipiten fuera de la solución.

Dependiendo del uso, el carbón puede ser usado en polvo o de forma granular, regularmente el polvo es usado para contaminaciones puntuales, mientras que la forma granular es la más común en la industria.



Figura 4. Distintos tipos de carbón activado para el tratamiento de agua (Agua 2016)

La variación de la forma y la porosidad de los gránulos, así como el tipo de carbón, tienen un gran efecto en la eficiencia del filtro y los tiempos de retro-lavado requeridos, debido a que los filtros de carbono deben ser retro-lavados constantemente, este factor es crítico en la eficiencia total del filtro.

Lámparas UV

Los filtros ultravioletas irradian el agua en un rango de largo de onda de entre 220 y 320 nanómetros. En este rango la luz puede penetrar las paredes celulares y alterar el material genético de los microorganismos. La luz es producida al hacer pasar electricidad por vapor de mercurio en una lámpara.

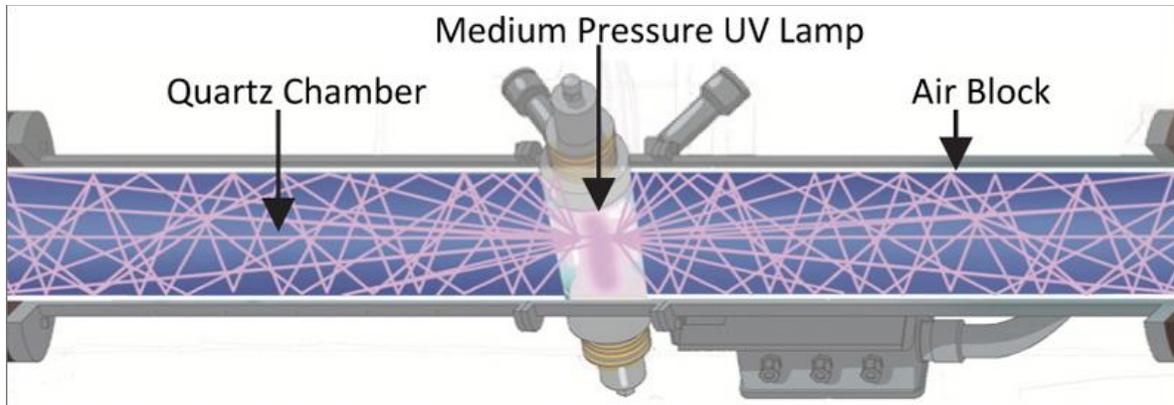


Figura 5. Lámpara UV Atlantium de media presión alta intensidad en cámara de cuarzo (Atlantium 2016)

Las lámparas UV pueden ser de baja, media o alta intensidad así como baja, media o alta presión de mercurio. Una mayor presión de mercurio genera un espectro más amplio, pero resta tiempo de vida a la lámpara. El tipo de lámpara que debe ser instalada depende del tipo de desinfección contra el que se está protegiendo el sistema y las condiciones de operación. Para aumentar la efectividad de la lámpara, es común crear una cámara que permita reflejar la luz UV, incrementando así la efectividad del sistema.

Para aumentar la efectividad de la lámpara, es común crear una cámara que permita reflejar la luz UV, incrementando así la efectividad del sistema.

Coagulación – Floculación

El proceso de coagulación floculación es usado comúnmente en la industria de tratamiento de agua residual por su bajo costo. El proceso puede ser dividido en dos fases:

- *Coagulación* donde se desestabiliza una suspensión o suspensión coloidal sucede al añadir químicos, normalmente sales de aluminio o hierro (conocidos como *Agentes Coagulantes*)

- *Floculación* en este proceso se añaden partículas inestables de tal manera que interactúen y formen conglomerados de mayor tamaño, los cuales pueden ser separados por sedimentación.



Figura 6. las imágenes muestran los distintos pasos del proceso de coagulación floculación y el cambio en apariencia del agua (ecotechafrica 2017)

1.7 Diferencia entre Osmosis inversa convencional y una Osmosis inversa CCD

Desalitech inventó la tecnología de osmosis inversa de circuito cerrado, CCD RO, por sus siglas en inglés, en el 2009 y posteriormente estableció sus oficinas centrales en Estados Unidos. A pesar de operar bajo el mismo principio, la CCD RO presenta una gran mejora respecto a la osmosis convencional.

La mayor diferencia entre los dos sistemas es el tipo de operación; la osmosis convencional opera en un régimen constante, mientras que la CCD RO opera en un régimen variable cíclico, este cambio permite alterar el arreglo de las membranas de la osmosis y mejora el rendimiento de las membranas.

Las membranas sufren dos tipos de desgaste: incrustación y ensuciamiento. La osmosis inversa tradicional está diseñada con múltiples membranas arregladas de manera secuencial, dependiendo de la posición de cada membrana en el arreglo es el tipo de desgaste que será más significativo.

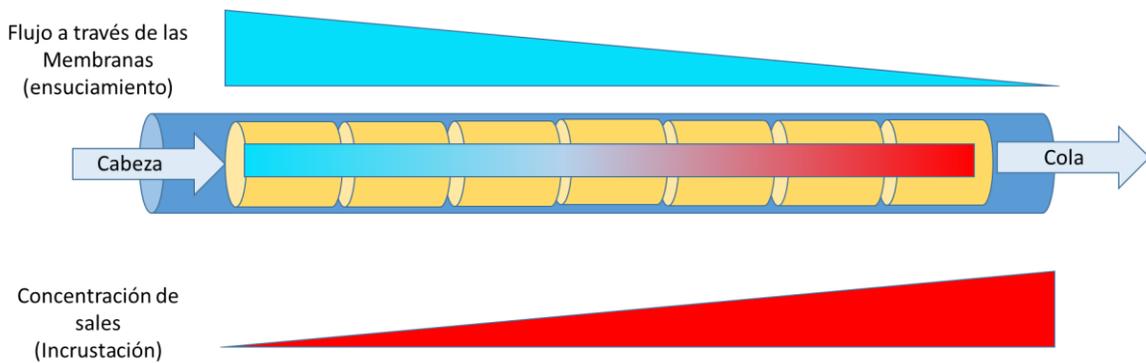


Figura 7. La imagen muestra los tipos de desgaste por cada membrana en una etapa de osmosis inversa.

El ensuciamiento sucede al inicio del arreglo, cuando el flujo de agua a través de la membrana es mayor y la concentración de sales es menor; la incrustación sucede al final del arreglo cuando hay menor flujo de agua y la concentración de sales es mayor, lo que provoca la incrustación de sales en las membranas. Cuando las membranas la cabeza o la cola del sistema llegan al límite de ensuciamiento o incrustación y deben ser remplazadas, el resto de las membranas debe ser remplazado de igual manera para garantizar la estabilidad operativa.

La recirculación y operación del sistema en régimen cíclico permite que el sistema no tenga una "cabeza" ni una "cola". Así las membranas se desgastan de igual forma a lo largo del sistema, desgastándose por ensuciamiento en la primera parte del ciclo y por incrustación al final del ciclo, incrementando la vida útil de las membranas y el porcentaje de recuperación del sistema.

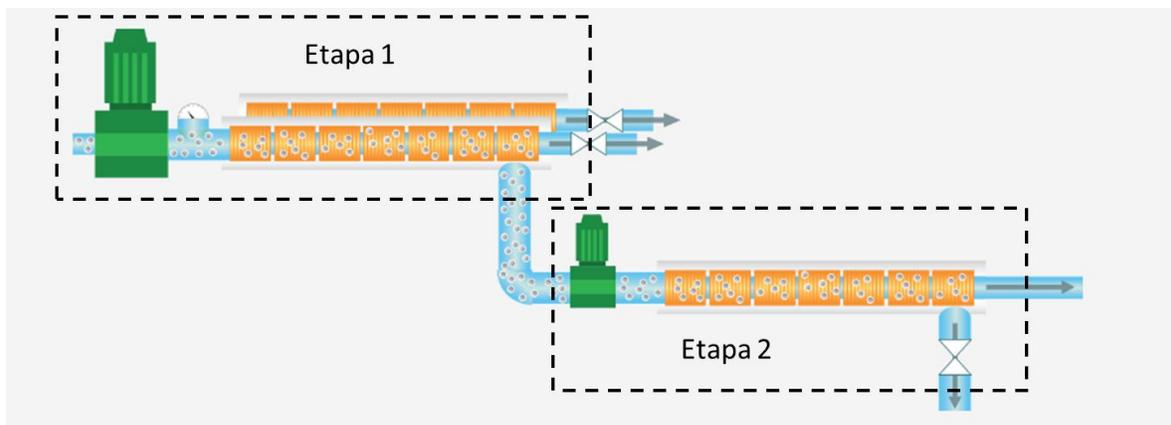


Figura 8. Típico arreglo en serie de equipos de osmosis inversa para alcanzar recuperaciones superiores al 70% (Desalitech 2015)

La mayoría de los sistemas instalados en la industria están compuestos por dos etapas para alcanzar una recuperación de entre el 75% y el 80%. (Taniguchi 2006). Cada etapa está compuesta de múltiples membranas de osmosis y puede alcanzar solamente entre el 50% y el 60% de recuperación. A pesar de que esto representa un rechazo relativamente alto, aumentar la recuperación con una tercera etapa hace los sistemas proporcionalmente más complejos y costosos de operar y menos flexibles.

El sistema de CCD consiste en recircular el agua de rechazo generada por la osmosis inversa. De manera similar a sistemas de filtración común, el sistema opera con un flujo constante de entrada y salida durante la operación normal. Cuando el sistema ha acumulado una cantidad predefinida de contaminación, el equipo vacía el agua como agua de rechazo y reinicia el ciclo de operación

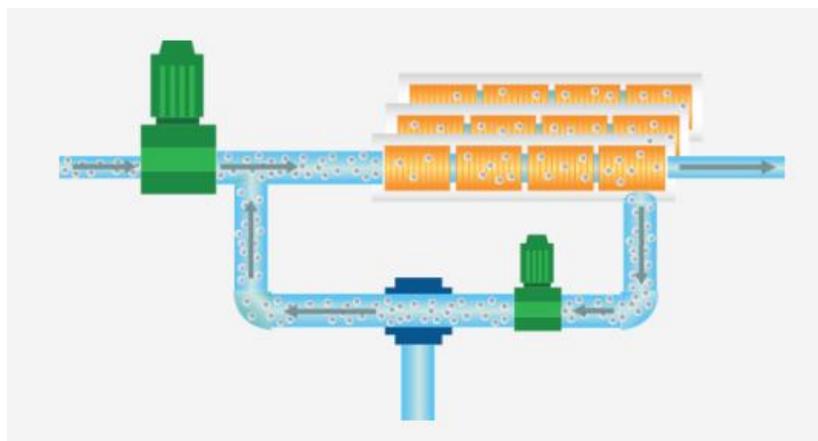


Figura 9. Arreglo del sistema de Osmosis CCD, donde se muestra el circuito de agua y la tubería de purga (Desalitech 2015)

Al tener una recirculación de flujos y trabajar a presiones variables, se pueden acomodar las membranas de forma paralela, lo cual disminuye la presión máxima requerida por la bomba y disminuye el consumo energético. A su vez, tener un sistema cíclico permite un aumento de flexibilidad, ya que si hay un cambio en el agua de entrada, el sistema puede extender o disminuir la duración de sus ciclos, de lo contrario un cambio en la calidad de agua en una osmosis convencional suele empeorar el rendimiento de las membranas.

Closed-Circuit Desalination (CCD™)

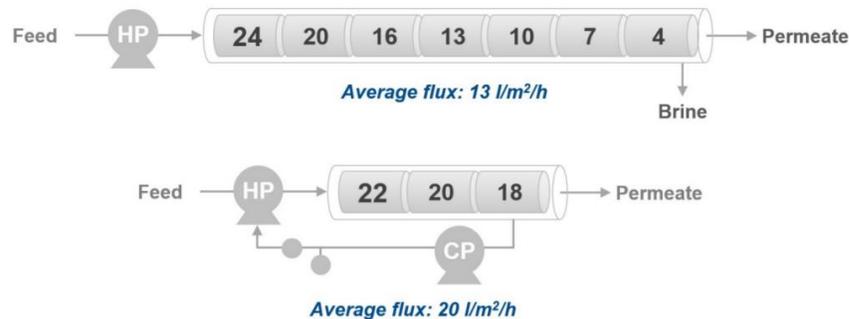


Figura 10 Caída de presión en sistemas de osmosis (Desalitech, 2015)

Al reducir la longitud del tren de membranas se puede observar una reducción en la pérdida de presión de la bomba principal. Debido a que la CCD opera en un régimen cíclico, habrá una mayor variación de presiones de operación de la bomba de suministro, reduciendo el consumo energético de la bomba principal.

Este ajuste también ayuda a incrementar el rango de calidades que puede manejar la CCD en comparación a una Osmosis inversa convencional. De haber un cambio en la calidad de agua de entrada, la CCD puede ajustar la duración de los ciclos del sistema para aumentar la eficiencia o no dañar las membranas, según sea el caso.

Con la tecnología de CCD RO, *Desalitech* ganó el premio de la compañía con el mayor cambio tecnológico del 2016 de *Global Water Subscribers*. También fue una de las 16 compañías elegidas para participar en el programa *UN Reasonable Goals* de la ONU con el objetivo de planear la solución de las metas del desarrollo del milenio de la ONU.

2 Descripción de la empresa

William Procter, fabricante de jabón, y James Gamble, Fabricante de velas, ambos nacidos en Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda emigraron a Cincinnati, Ohio, Estados Unidos y se conocieron al contraer matrimonio con las hermanas, Olivia y Elizabeth Norris. El 31 de octubre de 1837, crearon *Procter & Gamble* (P&G).

En 1879, *Procter & Gamble* introdujo el jabón *Ivory*, que marcó la diferencia en el mercado al atender la necesidad de un producto más suave y eficiente para lavar la ropa.



Figura 11. El Ivory soap es el jabón que impulsó a Procter & Gamble en su inicio y a la fecha es producido

La compañía comenzó a construir fábricas en otros lugares de los Estados Unidos debido a que la demanda de productos había superado la capacidad de las instalaciones de Cincinnati.

Con el incremento de la popularidad de la radio en la década de 1920 y 1930, la compañía patrocinó una serie de programas de radio. Como resultado, estos programas solían ser conocidos comúnmente en inglés como *soap - opera*.

La compañía se trasladó a otros países, tanto en términos de ventas como en fabricación de productos, convirtiéndose en una corporación internacional con la adquisición en 1930 de la compañía Thomas Hedley.

Numerosos productos nuevos y nombres de marca se introdujeron a través del tiempo, y *Procter & Gamble* comenzó la diversificación en nuevas áreas.

La compañía presentó *Tide*, detergente en 1946 y *Prell* champú en 1947.

En 1948, se creó una división internacional para controlar la creciente demanda de los productos P&G en el mundo. Ese año se iniciaron las operaciones en México, la primera filial de América Latina. Posteriormente se abrieron operaciones en el resto de América Latina.

En 1955, *Procter & Gamble* comenzó a vender la primera pasta de dientes que contenía fluoruro, conocida como *Crest*. Diversificando de nuevo en 1957, la compañía compró *Charmin Paper Mills* y comenzó a fabricar papel higiénico y otros productos de papel. Una vez

más se centró en la ropa, comenzando a hacer *Downy* suavizante en 1960 y rebotar hojas de suavizante en 1972. Uno de los productos más revolucionarios para salir en el mercado era *Pampers*, comercializada por primera vez en 1961.

En enero de 2005 P&G adquirió *Gillette*, convirtiéndose en la mayor empresa de bienes de consumo



Hoy Procter & Gamble vende sus productos en 180 países en 5 continentes y más de 15 marcas con un valor superior a \$1 billón de dólares.

2.1 Misión

La misión de la empresa es

“Ofrecemos productos de marca y servicios de calidad y valor superior que mejoran la vida de los consumidores del mundo entero. Como resultado, los consumidores nos recompensan con liderazgo en ventas, ganancias y generación de valor, permitiendo que nuestra gente, nuestros accionistas y las comunidades en las que vivimos y trabajamos prosperen.” –P&G

2.2 Visión

La visión de la empresa es

“Ser y lograr ser reconocida como la mejor compañía de productos de consumo masivo y de servicio, en el mundo.” –P&G

2.3 Estructura de la empresa y marcas comerciales

La estructura de la empresa se divide en cuatro Unidades de Negocio Global (UNG o GBU, por sus siglas en inglés) y cinco Organizaciones de Venta y de Mercado (OVM o SMO, por sus siglas en inglés).

- UNG
 - Belleza, Cabello y Cuidado Personal – *Pantene, Kolestone, Olay*
 - Bebé, Femenino y Atención a la Familia – *Pampers, Tampax, Always*
 - Tela y Cuidado del Hogar – *Swiffer, Bounty, Ariel, Downy, Tide*
 - Salud y Aseo – *Crest, Oral B.*

- OVM
 - Asia
 - Europa
 - India, Oriente Medio y África (IMEA)
 - América Latina
 - América Del Norte.
 -

En México, P&G cuenta con un centro de distribución en San Martin Obispo en el Estado de México, oficinas generales en Cuajimalpa y 6 plantas de producción.

Plantas

- Tepeji
- Vallejo
- Alce Blanco
- Naucalpan
- Mariscalá
- Milenio.

2.4 P&G en sustentabilidad

P&G tiene como visión alimentar sus plantas con energía 100% renovable, usar materiales renovables o reciclados en el 100% de sus productos de empaques, y eliminar los residuos de manufactura o de los consumidores.

En el 2010 P&G realizó el compromiso de:

- Reducir la energía usada en sus fábricas en un 20% por unidad de producción
- Reducir en un 20% los kilómetros de transporte de camiones por unidad de producción
- Reducir las emisiones de gases de efectos invernadero en 30%
- Asegurar que el 30% de la energía usada en las plantas provenga de fuentes de energía renovable
- Reducir el agua usada en sus fábricas en un 20% por unidad de producto.
- Garantizar que el 100% del empaque de papel usado contenga material reciclado o virgen certificado por un tercero
- Reducir los empaques en un 20% por consumidor.
- Asegurar que el 90% de empaque del producto sea reciclable o haya programas establecidos para reciclarlos.
- Duplicar el uso de resina reciclada para los empaques.

3 Descripción del puesto de trabajo

El puesto desempeñado en este proyecto fue como gerente de proyecto y líder técnico. El objetivo de este puesto es encontrar oportunidades y posibles áreas de mejora, evaluar y analizar sus causas para después proponer y evaluar el aspecto financiero, técnico y operativo de las posibles soluciones. Posteriormente diseñar y construir la mejor solución controlando el costo, tiempo y alcance del proyecto, garantizando que los riesgos que pudiesen afectar cualquiera de estos puntos sean eliminados o mitigados.

Las áreas a coordinar en un proyecto son las siguientes:

- Calidad: Asegurar que el agua tratada cumpla con las calidades requeridas para la elaboración del producto P&G, así como que los equipos estén instalados conforme a los estándares de calidad de P&G y las prácticas buenas de manufactura. La calidad, al hablar de agua, cobra una importancia especial, ya que puede tener consecuencias a lo largo de todos los procesos legales, y en la descarga de los drenajes. Todas las validaciones de calidad y el diseño del sistema deben contar con aprobación de:
 - El experto de calidad de agua globales
 - El experto de calidad de agua regional
 - El responsable de calidad de agua de la planta
 - El experto global de microbiología
 - El responsable de microbiología de la planta
 -

La coordinación de estas aprobaciones y recomendaciones está a cargo del líder del proyecto.

- Legal: Coordinar con el grupo legal los permisos de construcción y operación requeridos para la instalación de los equipos y la operación del sistema, así como el desecho de cualquier material o escombros.
- Seguridad: Diseñar los equipos para garantizar que su instalación y mantenimiento sean seguros para el personal, así como garantizar que durante su puesta en marcha no sucedan incidentes.
- Finanzas: En conjunto con el equipo de finanzas, estimar los costos de capital y operativos del proyecto y la correcta separación de ahorros e impuestos.

- Ingeniería: Las responsabilidades de ingeniería pueden ser divididas en 3 segmentos:
 - Diseñar el aspecto técnico del proyecto de tal manera que cumpla con los estándares y buenas prácticas de P&G, así como con las normativas legales del país.
 - Liderar y coordinar a las distintas firmas de ingeniería, así como aprobar, revisar y supervisar la ingeniería del proyecto y las especificaciones de los equipos a instalar.
 - Realizar los análisis de técnicos necesarios para evaluar y garantizar que la tecnología instalada sea adecuada para las condiciones de la planta y compatible con las prácticas de P&G.

- Costos: Realizar un control de costos mensual, que considere las distintas áreas de costos del proyecto y prediga adecuadamente el flujo de efectivo del proyecto a través de su implementación y hasta su capitalización.

- Operación: Diseñar las políticas operativas del sistema a implementar y revisar los costos que debe conllevar.

- Construcción: Liderar al personal de supervisión y a las compañías de construcción del proyecto, garantizar que la construcción siga la ingeniería realizada y que la construcción sea realizada con seguridad.

- Estandarización y trabajo a futuro: Realizar la documentación requerida para poder reaplicar de manera sencilla la tecnología en otras plantas.

4 Descripción del proyecto

La implementación de un nuevo proceso con una tecnología no probada en el área de servicios de una planta representa el gran reto de entregar todas las mejoras del nuevo proceso, sin añadir complejidades operativas sino al contrario, reduciendo ineficiencias existentes de la operación. Los servicios de una planta determinan la máxima confiabilidad posible de operación, ya que una falla en los servicios niega la posibilidad de operar el resto de los procesos, o peor aún, puede causar errores en los procesos y generar defectos en los productos, lo cual puede representar una pérdida mucho más seria.

Por este motivo en el desarrollo del proyecto se realizaron visitas de campo, revisiones técnicas constantes y numerosas evaluaciones. Para llevar al límite la tecnología que se estaba introduciendo, formando los cimientos a prácticas que permitan la fácil y eficaz replicación del proyecto y la tecnología en otras plantas.

El desarrollo del proyecto comenzó con la elaboración de un mapa de agua de la planta para evaluar las posibles tecnologías a usar, posteriormente se realizó la evaluación y selección de tecnologías. Al evaluar una tecnología nueva se requiere comprobar cómo interactúa la tecnología ante los factores determinantes del proyecto, posteriormente se realizan las bases de diseño y la ingeniería básica del proyecto.

4.1 Mapa de agua de la planta

Para poder evaluar las posibles soluciones para el correcto manejo del agua de la planta se realizó un mapa de agua de la planta, considerando los flujos, características del agua y requerimientos de cada uno, para así poder evaluar las tecnologías que mejor se acoplaran a la planta y a la calidad de agua requerida.

La calidad del agua es difícil de definir, y depende de su aplicación. Una medida común para su caracterización es la conductividad eléctrica, conocida en el medio como conductividad, medida usualmente en micro Siemens sobre cm, a mayor cantidad de 'impurezas' en el agua, la conductividad aumenta. Los Siemens son una unidad derivada del Sistema Internacional de medidas (SI) y sus unidades son:

$$1 S = \frac{1}{\Omega}$$

Sin embargo, para el diseño de sistemas se tiene que considerar qué composición tiene cada uno de los elementos del agua, ya que estos tienen diferentes límites de solubilidad y efectos sobre el pH del agua.

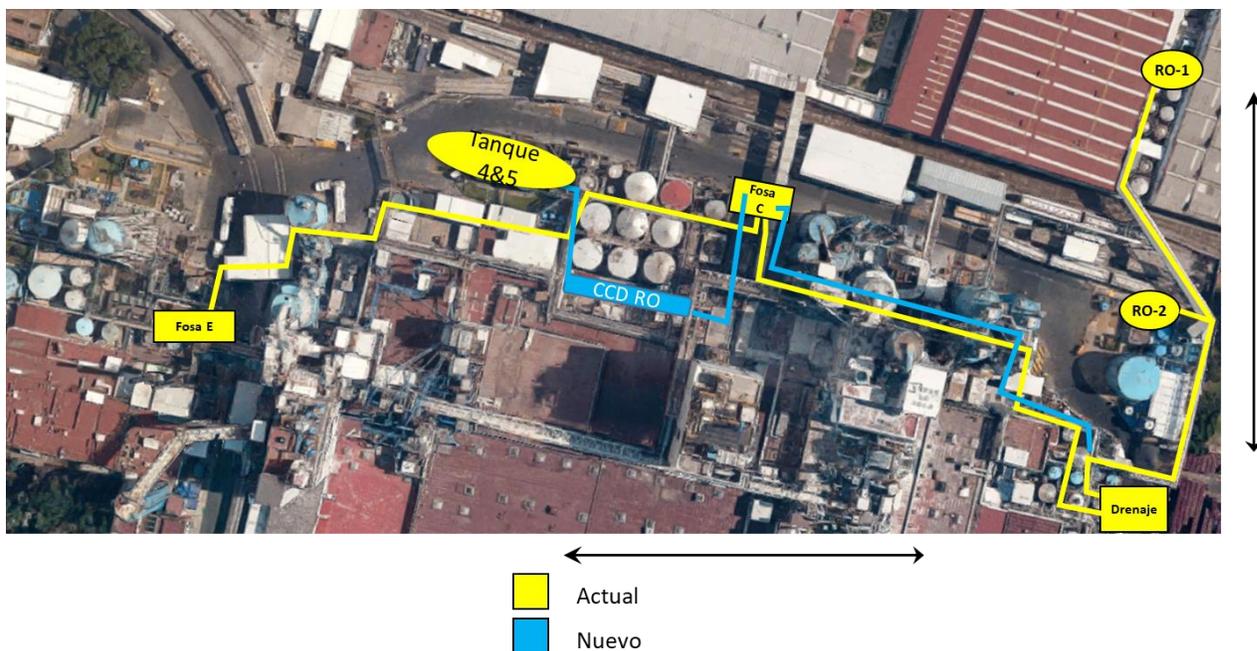


Figura 12. Plano de la planta con propuesta de conexiones

Agua de pozo

El agua de pozo que recibe la planta está alrededor de los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 30 ppm de sílice. El agua de pozo alimenta las calderas, torres de enfriamiento, sistemas de osmosis inversa y la torre de secado. El agua de pozo se almacena en dos tanques de cloración para control microbiológico (Tanque 4 y 5) para su uso en el proceso y se envía directamente al pretratamiento de las calderas.

Agua de rechazo de calderas

El agua de rechazo de las calderas tiene una alta conductividad cercana a los 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alta temperatura (cerca de los 80°C) y tiene la calidad suficiente para ser enviada al drenaje industrial (a una temperatura menor). El pH oscila entre 8-10. Cuando la temperatura del agua de rechazo baja, es enviada al drenaje industrial. Un gran beneficio del agua de las calderas es que ayudará a mantener la temperatura del agua de la osmosis en un rango alto, mejorando así la eficiencia a lo largo del año

Agua de rechazo de torres de enfriamiento:

Similar al agua de rechazo de las calderas, tiene alta conductividad, sin embargo suele estar diluida con agua de lluvia. El rechazo del agua de la torre de enfriamiento se envía al drenaje industrial.

Agua de rechazo de osmosis inversa del proceso:

El agua de rechazo de las osmosis de proceso tiene alta conductividad de alrededor de 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y alto contenido de sílice 135ppm. El rechazo de la osmosis es enviado al drenaje industrial. Ya que el proceso de osmosis es estable, este flujo presenta pocas variaciones en cantidad o calidad de agua, pH de 8 y alrededor de 600 ppm de cloruros.

Agua de torre de secado:

El agua de la torre de secado debe cumplir condiciones básicas de dureza (calcio y magnesio), alcalinidad (HCO_3) y metales pesados. El calcio debe ser menos a 118 ppm, magnesio menos a 300 ppm, alcalinidad menor a 1600 ppm y metales pesados menores a 0.5ppm.

Agua del drenaje industrial:

El agua del drenaje industrial en la Ciudad de México debe cumplir con la calidad expresada en la NOM 015, en los anexos. El costo por m^3 de agua descargado en el drenaje industrial es de \$65 pesos.

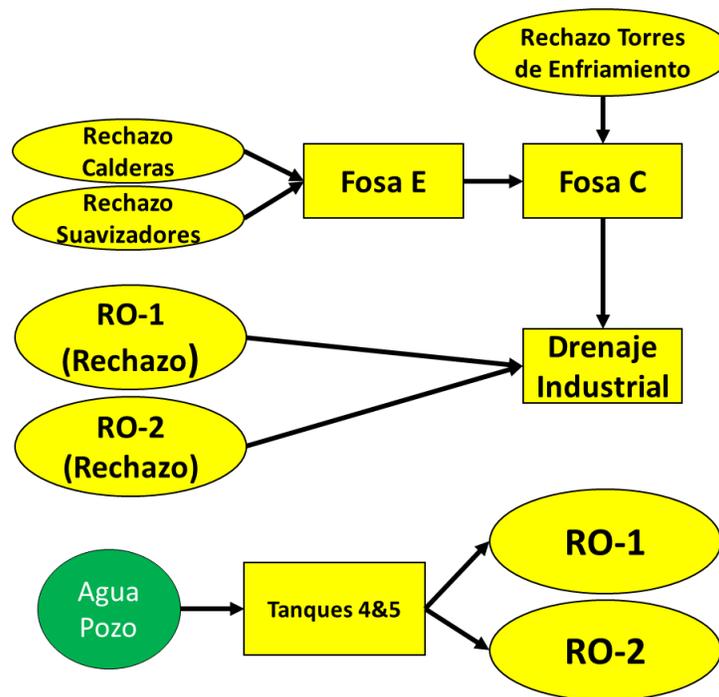


Figura 13. Mapa de agua de la planta antes del proyecto

4.2 Visita de Campo y revisión de Tecnología

Para diseñar el sistema correctamente y realizar una comprobación de la tecnología se realizó una visita a la planta de *MID AMERICAN STEEL* en Madill, Oklahoma, donde se instaló una CCD RO en el 2014 con los objetivos de:

- Evaluar las condiciones operativas del sistema

- Conocer los costos operativos, para poder escalarlos al proyecto
- Verificar la eficiencia real del sistema y compararla con la eficiencia estimada por *Desalitech*.
- Verificar la calidad de los flujos de agua de la osmosis, así como la variación de la eficiencia respecto a la variación de la calidad

La planta visitada reprocesa acero, y para su enfriamiento usa agua. Después el agua es enviada a una fosa expuesta al ambiente, el sistema opera 5 días por semana 24 horas al día. Durante el fin de semana la fosa es drenada y los sólidos metálicos son removidos por grúa, consecuentemente la concentración metálica durante la operación es máxima. Los cambios de temperatura durante la semana pasan de 20°C a 40°C. El agua de entrada al sistema de tratamiento es de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con 15 ppm de Hierro.



Figura 14. Tina receptora de agua para tratar por la CCD RO foto tomada en la visita

El pretratamiento del sistema consiste en sedimentación con coagulantes, posteriormente un clarificador, filtros multimedia, filtros de carbón activado y finalmente está instalada la CCD RO.

La osmosis de la planta opera con una eficiencia de recuperación del 90% y el permeado del sistema sale del sistema con una conductividad promedio de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una variación de calidad en el ciclo del de entre 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A pesar de los cambios de temperatura y concentración de sólidos disueltos a través del año no hay un impacto en el porcentaje de eficiencia +/-5%. Los costos de mantenimiento anual son de menos de \$250,000 pesos al año, incluyendo el costo de membranas y anti-Escalante. El tiempo promedio de vida de las membranas es de 11 meses, lo cual es superior al tiempo de vida promedio para membranas de sistemas de osmosis que operan en ese rango de calidad de agua (2-6 meses). No se registraron pérdidas del servicio mayores en el tiempo de operación del sistema después del paro semanal de fin de semana. El agua de purga expulsada tiene una conductividad promedio de 42,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El sistema es capaz de producir 17 m^3/h de agua permeada.



Figura 15. Muestra de agua posterior al clarificado, el color rosa señala presencia de Manganeso

4.3 Solución propuesta

Posterior a la visita y considerando las implicaciones tecnológicas y los rangos de operación observados se decidió unir los rechazos de las calderas, suavizadores, torres de enfriamiento y ambas operaciones de osmosis inversa para posteriormente tratarlas con la CCD RO, el agua permeada por el equipo realimentaría el agua de las operaciones de osmosis inversa de la planta y la purga se destinaría al drenaje industrial o a la torre de secado como se puede observar en la figura 14.

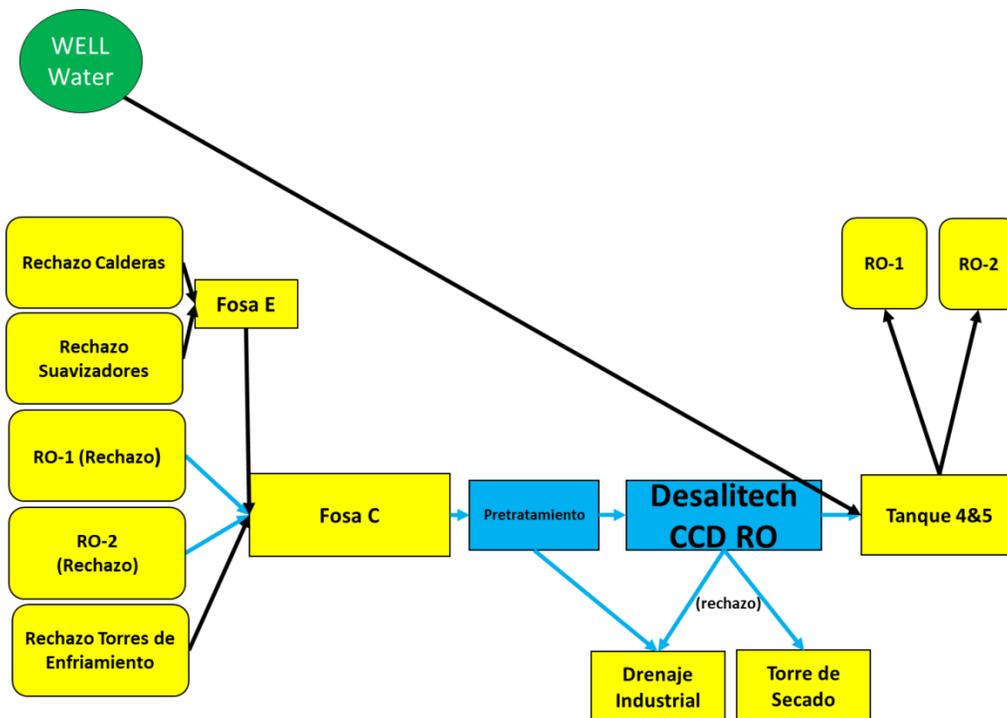


Figura 16. Diagrama básico del acomodo del nuevo sistema de tratamiento de agua

El permeado de la CCD será enviado al tanque de agua de pozo que alimenta los sistemas de osmosis inversa del proceso. El permeado de la CCD RO tiene una calidad superior al agua de pozo en términos de conductividad y sílice, la mezcla de agua de pozo y permeado permite un menor gasto de mantenimiento y un mejor control operativo en las osmosis.

El agua de permeado de la CCD también puede ser usada para alimentar las calderas o las torres de enfriamiento, sin embargo, los costos de mantenimiento y operación de los sistemas de osmosis inversa son mucho mayores, y el uso de una mejor calidad de agua entrega una reducción mayor en costos de mantenimiento, por lo que se decidió dedicar toda el agua permeada para el funcionamiento de las osmosis.

La purga de la CCD RO puede ser enviada a la torre de secado o al drenaje industrial en caso de que la torre de secado no tenga capacidad. Un mayor detalle del proceso se puede observar en el DTI presente en el Anexo B

4.4 Pretratamiento

Como se mencionó anteriormente, las tecnologías de osmosis requieren un pretratamiento para controlar la calidad del agua que ingresa al sistema. Un DTI del sistema de pretratamiento detallado se encuentra en el Anexo C

Para garantizar la calidad del agua de la entrada de la osmosis se instalaron filtros de arena y suavizadores como pretratamiento a la osmosis.

El pretratamiento seleccionado para la CCD RO fue a través de filtros de arena seguidos de suavizadores. Para asegurar la confiabilidad del sistema y permitir que los filtros de arena y los suavizadores pudieran realizar el retro-lavado y la regeneración de las resinas sin detener el sistema, se requirieron hacer las siguientes consideraciones.

Filtros de arena

Se instalaron filtros de arena gemelos, conectados a dos bombas centrífugas. Durante la operación normal, una de las bombas permanecerá apagada, mientras la otra bomba distribuye el flujo entre los dos filtros de arena. Cuando uno de los filtros de arena requiere ser retro-lavado la segunda bomba se activa y provee el flujo requerido para retro-lavar el filtro, mientras el otro filtro incrementa el agua filtrada por la duración del retro-lavado.

Por este motivo cada uno de los filtros de arena fue diseñado para manejar el 200% del flujo máximo de la osmosis.

Suavizadores

Los suavizadores en pareja trabajan de manera intermitente debido al largo tiempo de regeneración que requieren. Durante operación normal sólo uno de los suavizadores maneja la totalidad del flujo del sistema, mientras que el otro realiza la regeneración y al terminar permanece en reposo.

4.5 Ciclo de calidad

Considerando el arreglo anterior, y las calidades de agua de las distintas fuentes se modeló la calidad del agua esperada con el nuevo sistema, y se puede observar en la siguiente tabla.

La primera columna muestra la calidad del agua esperada de la mezcla de los rechazos de los sistemas de osmosis inversa, rechazo de las calderas, suavizadores y torres de enfriamiento, esta agua se mezclará en el tanque TNK-DBS-125 del anexo B. La segunda columna muestra las modificaciones que realizarán la adición de sosa, meta bisulfito de sodio y anti escalante a la entrada del sistema. El permeado es la calidad esperada de la operación continua de la CCD RO. El agua de purga es la calidad del agua que tendrá el agua de purga del sistema de CCD RO.

ppm	Agua de entrada	Agua con Ajuste	Permeado promedio	Agua de Purga
Ca	1.6	1.6	0.06	10
Mg	1.5	1.5	0.06	9
Na	834	946	95.39	5240
K	16	16	2.18	85
NH4	0	0	0.00	0
Ba	0.13	0.13	0.01	2
Sr	0.36	0.36	0.01	0
CO3	8	282.0	31.06	1531
HCO3	950	693	76.46	3800
SO4	307	307	20.38	2878
Cl	517	517	50.55	16824
F	0.0	0.00	0.00	0
NO3	2	2.0	1.49	4
B	0.0	0.00	0.00	0
SiO2	172.0	172.0	11.69	993
PO4	0.97	0.97	0.02	6.1
Al	0.03	0.03	0.00	0.0
Fe	0.02	0.02	0.00	0.2
CO2	16	0.2	0.02	3
TDS	2809	2940	290.3	16368
pH	7.8	9.5	9.8	9.0

Figura 17. Tabla de Calidad de agua esperada con el proyecto y agua de entrada

Uno de los grandes beneficios de la CCD RO es que puede operar en un rango de calidad de agua más amplio que una osmosis convencional, en el diseño del sistema esta ventaja resulta en una mejora significativa por el siguiente motivo:

La conductividad del agua de pozo promedio es cercana a los 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con esta calidad de agua, el agua de rechazo generada por la osmosis es alrededor de los 7000 $\mu\text{S}/\text{S}$ (equivalente a 2800 ppm de TDS). Sin embargo, al mezclar el agua de pozo con agua permeada por la CCD RO a 350 $\mu\text{S}/\text{S}$ (290 ppm de TDS), la conductividad del agua de la osmosis será reducida y por lo tanto la conductividad del agua de rechazo reducirá.

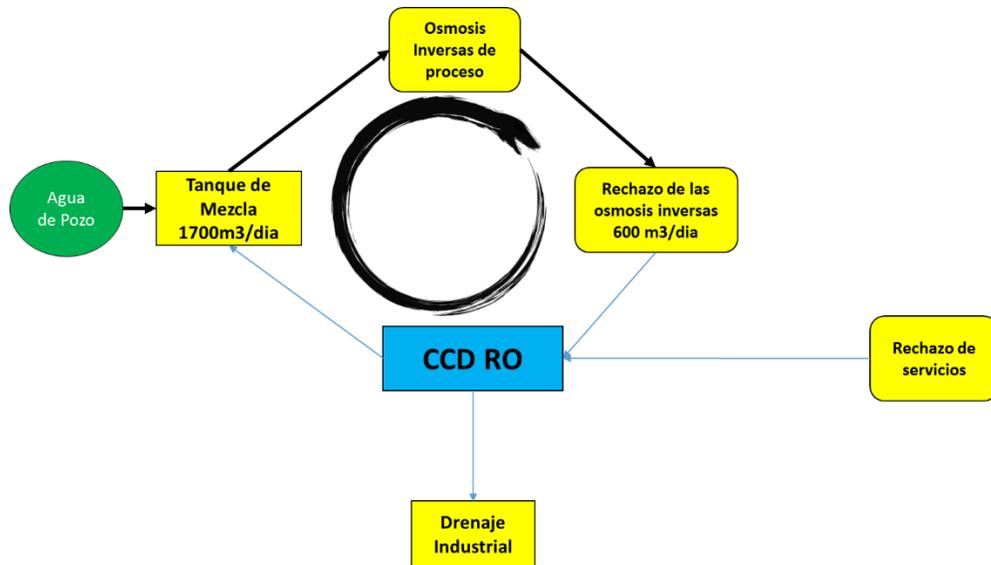


Figura 18. Ciclo de mejora de la calidad de agua en el sistema de agua de la planta

Esto genera un ciclo donde la conductividad del agua suministrada a las dos osmosis es cada vez menor, lo que genera una mayor recuperación de agua en la CCD RO y menores costos operativos en las dos osmosis. En una operación continua, y considerando la proporción de agua de pozo a agua permeada, se puede reducir la conductividad a cerca de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumentando la eficiencia del sistema de CCD RO por arriba del 90%.

5 Resultados

El equipo de CCD RO se probó en Richmond Virginia y se certificó para operación en septiembre del 2016. Debido al éxito de las pruebas preliminares y las ventajas tecnológicas se decidió implementar una segunda planta de tratamiento de agua con este sistema en la planta de *Louveira* en Brasil, para realizar un arranque simultáneo de ambos equipos.

Se espera que el sistema de la planta de Vallejo reduzca el consumo de agua en un 30%, el equivalente al agua consumida por 2000 (VALDELAMAR, 2018) personas en México. Adicional a esto, el proyecto disminuirá el agua enviada al drenaje industrial en 80% o más. Considerando el 80% de eficiencia del equipo, a pesar de que Desalitech garantizo un porcentaje mayor de eficiencia. Esta recirculación constituirá el ahorro de 30% en el consumo de agua.

Se esperan porcentajes similares de ahorro para la planta de *Louveira* en Brasil. La replicación del proyecto de manera global es compleja, ya que deben realizarse adecuaciones ingenieriles para cumplir con el rango de calidades de agua presentes en las fuentes de agua y las calidades requeridas para los diversos procesos, sin embargo, el proyecto claramente probó que la tecnología es rentable y dejó las bases para poder realizar la replicación del sistema, comprobando que la tecnología de Osmosis Inversa de Desalinización de Circuito Cerrado es una tecnología de punta para el tratamiento de agua residual.

En términos de seguridad, el diseño del proyecto se revisó y aprobó por el equipo regional de seguridad de *Procter* y el equipo local de Vallejo. La construcción del sistema no registró ningún incidente durante los 9 meses de construcción y más de 15 compañías trabajando para su elaboración.

De forma financiera el proyecto, evaluado a 5 años, tiene un retorno de inversión (ROI) de entre 48% y 70%, con una inversión de capital y gastos arriba de \$1.5 millones de dólares.

En calidad, el sistema está garantizado para entregar la calidad requerida en la planta e incrementar la confiabilidad de la operación, el ciclo de calidad desarrollado por el sistema podría dar ahorros adicionales a los contemplados. El diseño del sistema fue hecho cumpliendo los principios de buenas prácticas de manufactura actuales cGMP *Current Good Manufacturing Practices* y el protocolo de pruebas considerando incluye más de mil muestreos de calidad de agua.

El proyecto inició su ejecución en mayo de 2015, y la construcción del sistema concluyó en septiembre de 2016. El arranque del sistema y las valoraciones de calidad finales no se han concluido en espera del arranque simultáneo con la planta de *Louveira*.

Este proyecto se seleccionó como uno de los mayores proyectos de innovación en P&G en el 2016 y recibió fondos para desarrollar la ingeniería y planear la integración de la tecnología a los sistemas de P&G a nivel global por un monto de 100 mil dólares.

Cifras exactas del ahorro del proyecto y el impacto de la mejora de calidad en las operaciones no pueden ser compartidas de acuerdo al acuerdo de confidencialidad de P&G.

6 Conclusiones

A través de la implementación de este proyecto se evidenciaron las carencias a nivel local, nacional y global respecto al el buen aprovechamiento del agua. El paradigma que propone que el ahorro del agua requiere un sacrificio financiero es claramente anticuado y totalmente falso, sin embargo, es el paradigma que forja el marco legal de México en sustentabilidad.

Resulta especialmente frustrante descubrir que la legislación actual no promueve el consumo responsable del agua en la industria, y por el contrario podría decirse que la castiga. Teniendo en cuenta los problemas de abastecimiento y tratamiento de agua que México y su capital presentan, resulta ilógico que no haya un avance político en este aspecto. La Ciudad de México es una de las zonas de mayor escasez de agua en el mundo debido a su densidad de población y su situación geográfica. Está en el mejor interés del gobierno, sus ciudadanos y la industria que exista un marco legal consistente con los avances tecnológicos del siglo pasado y el actual, para poder combatir la escasez del agua.

Los reportes anuales de la ONU respecto al agua por los últimos 4 años dejan claro que los efectos de la escasez del agua serán cada vez más graves. También resulta claro que se requiere una intervención multidisciplinaria para poder evaluar e implementar soluciones integrales que tomen en cuenta los ámbitos económicos, sociales, políticos, técnicos y ecológicos que están ligados estrechamente al agua.

Es nuestra responsabilidad como ingenieros buscar, aplicar e inventar soluciones tecnológicas que permitan un crecimiento sustentable en la industria y en el país, pero también es nuestra responsabilidad como ingenieros, tener una formación interdisciplinaria para la resolución exitosa de crisis como la del agua. Si bien la formación interdisciplinaria es promovida por la UNAM, hay grandes oportunidades para explotar la gran diversidad presente en la UNAM para la creación de programas que cultiven una formación integral.

Me enorgullece enormemente haber podido proponer y liderar este proyecto por el impacto social y ecológico que implica al igual que el reto tecnológico o ingenieril que su manejo requiere. La ingeniería es el uso de las fuerzas y recursos naturales en favor del hombre y como ingenieros tenemos la obligación de hacer uso responsable de nuestros conocimientos para mejorar la sociedad. El Ingeniero Manuel Viejo Zubicaray argumentaba que es responsabilidad de los ingenieros no sólo innovar de manera tecnológica, sino también llevar las innovaciones de manera exitosa a la sociedad e incluso a la política. Y fue hasta la elaboración de este proyecto que pude constatar la necesidad de una perspectiva ingenieril en nuestra sociedad.

Por mi raza hablará el espíritu.

Bibliografía

- Agua, N. (2 de Noviembre de 2016). *Novo Agua*. Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://novoagua.com/productos/tratamiento-aguas/osmosis-inversa/equipos-industriales-y-comerciales-1/>
- American Water Works Association, American Society of Civil Engineers. (1969). *Water Treatment Plant Design*. McGrawHill.
- Atlantium. (1 de Nov de 2016). *Atlantium*. Recuperado el 1 de Julio de 2017, de <http://atlantium.com/en/>
- Comisión nacional del agua . (2017). *Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2017*. Ciudad de Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- DAVIS, U. (2016). *University of California Davis*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de https://chem.libretexts.org/LibreTexts/University_of_California_Davis/UCD_Chem_002B/UCD_Chem_2B%3A_Gulacar/Unit_II%3A_States_of_Matter/13%3A_Solutions_and_their_Physical_Properties/13.07%3A_Osmotic_Pressure
- Desalitech. (2015). *Desalitech - How it works*. Recuperado el Febrero de 2016, de <http://desalitech.com/solutions/ccd/>
- ecotechafrika. (30 de enero de 2017). *ecotechafrika*. Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://ecotechafrika.co.za/water-purification/>
- Glater, J. (1998). The early history of reverse osmosis membrane development. En J. Glater, *Desalination* (págs. 297-309). Los Angeles, Los Angeles: Department of Civil and Environmental Engineering, University of California.
- N, J. J. (2016). El Cutzamala está en riesgo por fugas y contaminantes. *Milenio*, 2.
- Procter & Gabble. (2016). *P&G 2016 Citizenship Report*. Cincinnati: P&G.
- STF. (10 de Julio de 2017). *STF filtros*. Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://www.stf-filtros.com/es/filtros-arena>
- Taniguchi, Y. (2006). *Encyclopedia of Desalination and Water Resources* . Water Reuse Promotion Center, Japan: Yokohama National University.
- United Nations. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015* . New York : United Nations.
- United Nations. (2016). *The United Nations World Water Development Report 2016*. New York: United Nations.

United Nations. (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017*. New York: United Nations.

VALDELAMAR, J. (09 de Abril de 2018). México, el quinto país que más consume agua. *El financiero*, pág. 1.

8 Anexos

Anexo A

Tabla de la NOM 15

8

GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

25 de Septiembre de 2012

Tabla 2.- Límites Máximos Permisibles de calidad de agua residual.

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual	Promedio Diario
Grasas y Aceites	50	75
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5
Arsénico total	0.5	0.75
Cadmio total	0.5	0.75
Cianuro total	1	1.5
Cobre total	10	15
Cromo hexavalente*	0.5	0.75
Mercurio total	0.01	0.015
Níquel total	4	6
Plomo total	1	1.5
Zinc total	6	9
Temperatura (°C)	40	40
Materia Flotante	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos totales	150	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5**	150	200

* Se puede medir como cromo total cumpliendo con los valores establecidos para cromo hexavalente.

** Se puede medir como DQO cumpliendo los valores establecidos para DBO.

Anexo C

DTI Pretratamiento

