



Propuesta tecnológica de una planta suministradora de agua tecnológica para la EMI Astilleros Centro

Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico.

Autor: Carlos Diego Orozco Santander

Cienfuegos, 2020



Propuesta tecnológica de una planta suministradora de agua tecnológica para la EMI Astilleros Centro

Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico.

Por

Autor: Carlos Diego Orozco Santander

Tutor: Dr. C. Fernando E. Ramos

Oponente:

Cienfuegos, 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre y mi familia que siempre me exhortó a seguir estudiando, sin importar el gasto monetario que significo para ellos.

Agradezco a mis profesores que compartieron sus conocimientos y me enseñaron todo lo que hoy puedo hacer como ingeniero.

Agradezco a mis amigos y compañeros, que siempre estuvieron en todo momento recordándome que si podía alcanzar esta meta.

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi familia, sobre todo a mi madre ya que ella fue mi principal motor para lograr esta meta. También dedico esta tesis a mi persona, por llegar hasta aquí con esfuerzo y sacrificio. También la dedico a toda persona que de una forma u otra me brindó su apoyo, y fue parte de mi motivación.

SINTESIS

El presente trabajo tuvo como propósito proponer una planta suministradora de agua tecnológica. Como métodos principales se utilizaron el Análisis Multicriterio (Método Delphi) y los métodos de análisis económico propuesto por Peters y Ramos en una variante novedosa. Los resultados que se obtuvieron luego de aplicar la metodología fueron la viabilidad de una planta que presenta buenas características para el propósito. La Metodología aplicada aseguró suficiente variabilidad en el diseño, repetitividad de los experimentos, consistencia de los resultados y validez de las conclusiones. La propuesta tiene suficientes implicaciones económicas, medioambientales y sociales para considerarla significativamente sostenible.

SYNTHESIS

The purpose of this work was to propose a technological water supply plant. The main methods were the Multicriteria Analysis (Delphi Method) and the economic analysis methods proposed by Peters and Ramos in a novel variant. The results that were obtained after applying the methodology were the viability of a plant that presents good characteristics for the purpose. The applied methodology ensured sufficient variability in the design, repeatability of the experiments, consistency of the results and validity of the conclusions. The proposal has enough economic, environmental and social implications to be considered significantly sustainable.

Tabla de contenido

Introducción	2
Antecedentes	2
Problema de Investigación:	2
Objetivo General	2
Objetivos específicos	3
Hipótesis de la Investigación	3
Los beneficios esperados con esta investigación serán:	3
Límites del alcance de la investigación	3
Capítulo 1: Fundamentos científicos que sustentan la investigación	5
1.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial	5
1.1.1 Distribución mundial del agua	5
1.1.2 Desalinización	5
1.1.3 Situación mundial de desalinización	6
1.1.4 Situación nacional de desalinización	7
1.1.5 Situación local de desalinización	10
1.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación	10
1.2.1 Ubicación geográfica de la Empresa	11
1.2.2 Funcionamiento actual de la fábrica relacionado con el abastecimiento de agua	13
1.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación	14
1.4 Posible tecnología a usar “Osmosis Inversa”	14
1.4.1 El principio de funcionamiento	15
1.4.2 Desempeño de la osmosis inversa	16
1.4.2.1 Costo de producción	19
1.4.2.2 Consumo de energía	20

1.4.2.3 Ventajas	20
1.4.2.4 Desventajas	20
1.4.3 Sistema típico de osmosis inversa	20
1.5 Membranas	21
1.5.1 Materiales de membranas.....	21
1.5.2 Clasificación según rendimiento	23
1.5.2.3 Membranas de alta productividad (baja energía).....	24
1.5.2.4 Membranas de alta presión.....	24
1.5.3 Parámetros de las membranas	24
1.5.4 Formulario	25
Balance de masa para el flujo de agua	25
Capítulo 2: METODOLOGÍA de la Investigación.....	29
2.1 Introducción al capítulo	29
2.2 Fundamentos científicos.....	31
2.2.1 Selección y estudio de alternativas.....	32
2.3 Metodología para la aplicación de Criterio de expertos.....	36
<i>La técnica de criterio de expertos permite ordenar criterios o factores a partir de la votación de los expertos. Tiene los siguientes pasos: selección del número de expertos elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos, a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto, determinar el nivel de concordancia y realizar la validación del criterio de expertos.....</i>	<i>36</i>
2.3.1 Selección del equipo de trabajo (expertos).....	36
2.3.2 Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto.....	39
2.3.3 Nivel de concordancia.....	40
2.3.4 Validación del criterio de expertos.....	40
2.3.5 Método Delphi.....	40

2.4 Metodología para la selección del equipo de bombeo.....	42
2.4.1 Cálculo del diámetro de la tubería y la velocidad del fluido.....	42
2.4.2 Tramo de succión.....	42
2.4.3 Tramo de descarga.....	44
2.4.4 Ecuación de Bernoulli.....	44
2.4.5 Cálculo del número de Reynolds.	45
2.4.6 Los flujos viscosos se pueden clasificar en laminares o turbulentos teniendo en cuenta la estructura interna del flujo.....	46
2.4.7 Pérdidas del sistema.....	46
2.4.7.1 Pérdidas de tramo recto o pérdidas de carga por fricción.....	47
2.4.7.2 Pérdidas de accesorios o pérdidas locales.	49
2.4.8 Trazado de la característica hidráulica del sistema de tuberías.....	53
2.4.9 Cálculo de la velocidad específica.	54
2.4.10 Comprobación de la selección del equipo basándose en la cavitación.	57
2.5 Métodos utilizados para el cálculo de la Rentabilidad del Proyecto de Inversión.....	61
2.5.1 Valor Actualizado Neto (VAN).....	62
Capítulo 3: analisis de resultados	67
3.1 Introducción al capítulo.	67
3.2 Selección del método de desalinización a usar, determinado por el método Delphi.....	67
3.3 Selección de la Planta de Osmosis Inversa.	68
3.3.1 Puntos a tener en cuenta para la selección para la selección.	69
3.3.2 Planta propuesta.....	69
3.3.2.1 Información Básica.....	69
3.3.3 Comprobación de abastecimiento para condiciones de mínima (tasa de rechazo al 65%).....	75

3.4 Selección de la bomba de acuerdo a la metodología.....	75
Cálculo de la velocidad específica.....	86
3.5 Calculo económico de la Inversión. Calculo del VAR y TIR.	93
3.5.1 Datos a usar.....	93
Pago de intereses al 15% de la inversión.....	94
8 000,00 CUC.....	94
3.5.2 Creación de tabla de cálculo del V.A.N. y T.I.R.	94
3.6 Consideraciones económicas, ambientales, sociales.	95
3.6.1 Consideraciones económicas.	95
3.6.2 Consideraciones ambientales.	95
3.6.3 Consideraciones sociales	95
Conclusiones.....	98
Recomendaciones	100
Referencias Bibliográficas	102



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Empresa Provincial Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos incumple con el plan de abasto de agua (fijada en 40 m³/día) a la E.M.I. (Empresa Militar Industrial) Astillero Centro para su fábrica de productos de aseo y limpieza. Actualmente se está obteniendo un suministro promedio de 10 m³/día. Por esta causa, las pérdidas monetarias anuales son de 407 550,00 CUC (moneda libremente convertible), dejando de producir 968 600 litros de productos de aseo y limpieza, sumamente importante para la población y con un impacto social importante, viéndose afectado el Estado debido a la necesidad de suplir esta carencia de productos con importaciones.

En el presente trabajo se propuso una alternativa para resolver los problemas de suministro de agua en la Fábrica de Productos de Higiene y limpieza de Empresa Militar Industrial "Astillero Centro". Para el Diagnóstico y solución se utilizaron diferentes herramientas y técnicas como son la Observación Directa, las Entrevistas y Encuestas, el Método Delphi y los Métodos de Peter's para la evaluación económica y la rentabilidad de la inversión. Como resultado se tuvo la mejor variante propuesta por los expertos.

Por lo que se plantea el siguiente Problema de Investigación:

Existen pérdidas económicas significativas por fallos de suministro de agua en la fábrica de implementos.

Objetivo General

Proponer una planta de agua tecnológica que cumpla con el abastecimiento requerido para la fábrica, que reducirá las pérdidas económicas causadas por el déficit de abasteciendo de agua actual.

Objetivos específicos

1. Establecer los fundamentos científicos que sustentan la investigación.
2. Proponer una tecnología que satisfaga las demandas de la producción y las condiciones de la fábrica, garantizando así la reducción de las pérdidas.
3. Realizar la adecuada selección de los equipos y accesorios necesarios para el funcionamiento de la planta desalinizadora.
4. Considerar las implicaciones económicas sociales y ambientales de la instalación.

Hipótesis de la Investigación

Si se propone una planta de agua tecnológica para la fábrica de implementos, podrá ser usada como tarea técnica para la compra y solución del problema planteado.

Los beneficios esperados con esta investigación serán:

1. La reducción de pérdidas monetarias por interrupción del proceso.
2. La mejor tecnología incrementará en nivel tecnológico de la empresa.
3. Ocurrirán beneficios sociales y ambientales derivados de la implementación de la tecnología.

Límites del alcance de la investigación

Los límites de la investigación abarcan desde establecer los fundamentos científicos mediante la búsqueda bibliográfica, hasta la selección de la mejor alternativa con análisis multicriterio y análisis de inversión.

Los límites tecnológicos planteados para la propuesta tecnológica serán una planta que suministre el agua de uso y que evite cualquier interrupción.



CAPITULO I

CAPITULO 1: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN

1.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial

1.1.1 Distribución mundial del agua

De los 1 300 trillones de litros de agua que hay en la tierra, un 97,23% se encuentra en los océanos, en los casquetes polares un 2,15% y en mares un 0,008%. Es decir, un 99,38% del agua terrestre no es apta para el consumo humano o no es accesible.

El agua dulce se encuentra dividida entre acuíferos, lagos, en la humedad del suelo y en la atmósfera, por tanto, el ser humano sólo puede acceder aproximadamente al 1% del total de agua del planeta.

Por lo cual, el agua juega un papel fundamental en el desarrollo, tanto para la agricultura, como para la industria, sin olvidar lo importante que es para la población. Actualmente los recursos hídricos naturales de los que disponga un país, no son un factor determinante en cuanto a su capacidad de desarrollo económico, ya que la tecnología para obtener agua potable se haya en un estado muy avanzado.

1.1.2 Desalinización

La desalinización del agua de mar es la producción de agua potable o de calidad industrial, dulce, de baja salinidad, a partir de una fuente de agua salada (agua de mar, bahía u océano) por medio de separación con membrana o evaporación (destilación por calor).

Entre las tecnologías de desalinización disponibles hoy, la ósmosis inversa (R.O.- Reverse Osmosis) es considerada el proceso de desalinización más económico. La desalinización de agua de mar con R.O. tiene ventajas en las áreas de ahorro de energía, más bajo costo de capital, menor tiempo de arranque y parada, menor periodo de construcción, menos espacio de instalación y menor costo total del agua.

1.1.2.1 Reseña Histórica de la desalinización

Las primeras instalaciones desalinizadoras construidas en la década de 1870 eran de tipo térmico con evaporadores de etapa flash múltiples (MSF) o de destilación de efecto múltiple (MED), con unos consumos superiores a 40 kWh/m³.

En la década de 1980 surgieron las plantas desalinizadoras de compresión de vapor, con consumos de 15 kWh/m³. Y también las primeras plantas de osmosis inversa, con un consumo de 10 kWh/m³. Actualmente el campo de la osmosis inversa se ha visto ampliamente mejorado con pequeñas innovaciones tecnológicas en los sistemas de recuperación de energía, disminuyendo el consumo hasta los 3 kWh/m³.

NOTA: El agua salobre es un agua con contenido mineral mayor que el de las aguas dulces, pero menor que el del agua de mar. En general aguas salobres contienen entre 1 000 y 3 000 mg/L de sólidos disueltos totales.

1.1.3 Situación mundial de desalinización

En estos momentos unos 260 millones de personas beben agua procedente de una planta de desalinización en el mundo. Sin embargo, este número irá en aumento debido al previsible aumento de la población mundial y la no menos previsible falta de agua potable.

Actualmente el principal problema de este tipo de producción de agua es el alto coste económico debido fundamentalmente a la gran cantidad de energía que es necesaria para llevarlo a cabo. Sin embargo, a medida que la tecnología avanza, el consumo disminuirá.

Según datos del IDA (International Desalination Association), actualmente alrededor de 150 países dependen de la desalinización para satisfacer sus necesidades de agua. A nivel mundial, se producen 80 millones de metros cúbicos al día en las 17 000 plantas de desalinización, de las cuales la mitad utilizan agua de mar.

Un ejemplo claro de países que dependen de este proceso para cubrir sus necesidades de agua son los países de oriente medio. Dichos países son ricos en recursos energéticos fósiles, pero no disponen de una gran cantidad de agua.

En cuanto al método de desalación, a nivel mundial el 70% de las plantas de desalinización térmica se han pasado a la osmosis inversa. Aunque dicho sistema tiene problemas en lugares donde la temperatura es muy alta, sin embargo, las investigaciones actuales están dirigidas a la creación de nuevas membranas capaces de operar a baja presión y alta temperatura.

1.1.4 Situación nacional de desalinización

En Cuba el objetivo general del trabajo con plantas desalinizadoras se concentró en fundamentar la necesidad del desarrollo de estas tecnologías en asentamientos humanos con limitada disponibilidad de agua, fundamentalmente en zonas costeras.

- Desalinización: proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre. Las plantas desalinizadoras, también conocidas como desaladoras, son instalaciones industriales destinadas a la desalinización, generalmente del agua de mar o de lagos salados, para obtener agua potable.
- En Cuba: la desalinización del agua de mar se realiza utilizando el método de ósmosis inversa; existen seis plantas desalinizadoras que emplean dicho método, cuatro de ellas tienen un caudal mayor o igual a 180 m³/día y dos son de caudal pequeño.

Para enfrentar la sequía, uno de los mayores estragos que ha provocado el cambio climático en Cuba, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos ha previsto en su Plan Hidráulico Nacional, el uso de plantas desalinizadoras de agua, con el objetivo de incrementar la disponibilidad del líquido.

Aunque pareciera cosa de días, el uso de estos mecanismos no es reciente, sino que se remonta a un trabajo de años, incluso décadas, y con el paso del tiempo se ha modernizado y extendido por todo el archipiélago.

Según Alexis Acosta, actual Director Nacional de Acueducto y Alcantarillado (Acosta, A., 2019):

“El objetivo general del trabajo con plantas desalinizadoras se concentró en fundamentar la necesidad del desarrollo de estas tecnologías en asentamientos humanos con limitada disponibilidad de agua, fundamentalmente en zonas costeras”.

Inicialmente, comenzó a utilizarse en Cayo Largo del Sur con una planta que poseía una capacidad de 10 litros por segundo. Paulatinamente, esta tecnología se ha actualizado y al día de hoy ya alcanza los 40 litros por segundo. Asimismo, ha disminuido también el consumo energético, de 8 kWh/m³ hasta aproximadamente 3,5 kWh /m³ y 3,8 kWh /m³.

Sin embargo, no solo se trabaja en la utilización de estas plantas para el consumo humano, sino que su uso ha extendido a sectores como la industria y el turismo, con excelentes resultados. Tal es el caso de la termoeléctrica de Santa Cruz del Norte y en hoteles de la cayería norte.

Por las características geográficas que posee el país, casi la totalidad de los ríos corren en la dirección contraria, y sus corrientes resultan de corto curso y marcadas pendientes, con un régimen de caudales variable, en dependencia del comportamiento anual de las precipitaciones.

Por tanto, los recursos acuíferos de Cuba dependen de las lluvias, y en los últimos años se ha mostrado una dilatación de los períodos de sequía. Estudios recientes arrojan que la media histórica de precipitaciones disminuirá considerablemente para el año 2050.

Por ello, el país trabaja en la búsqueda de soluciones ante esta situación. Al igual que en otras regiones del mundo, se garantiza la disponibilidad de agua para el desarrollo socioeconómico de forma tal que no se dañe el medio ambiente y se reduzcan los costos energéticos.

El proceso de desalinización resulta costoso para el país. Por ello, algunas de estas plantas trabajan con intermitencia, como la ubicada en la zona de Cabañas,

en Santiago de Cuba. Según explicó el especialista, a diferencia del resto, trabaja a partir de que exista déficit de otras fuentes de abasto en la provincia y tiene una capacidad de 50 litros por segundo. Similar ocurre con la ubicada en Cayo Santa María, que se utiliza fundamentalmente en períodos en los que el polo turístico necesita autoabastecerse, pues no da abasto con la red tradicional, proveniente de Caibarién.

Este es un programa multisectorial que se desarrolla de conjunto con otras empresas y organismos como GELECT y CEDAI. “De conjunto con el Ministerio de la Industria, buscan sustituir importaciones desde la producción nacional. Hemos hecho ya las pruebas con CEDAI, en plantas muy pequeñas, de aproximadamente 2 m³ y 4 m³ por día, pero que garantizan el abasto del líquido. Ellos ponen la tecnología, toda la parte instrumental (membranas, bombas) y por supuesto es más barato que cuando se adquiere el paquete completo.

1.1.4.1 Proyectos en proceso

Fruto de una donación del Fondo de Naciones Unidas para la Infancia con capital ruso, la Empresa Constructora de Guantánamo trabajó en la parte civil de la planta desalinizadora de Punta de Maisí, única de su tipo en la provincia.

Con un tiempo de vida útil de 20 años, procesará el agua salobre extraída de pozos de 40 metros de profundidad y libre de fuentes contaminantes, a diferencia de otras plantas en el país que usan agua salada del mar, lo cual garantiza mayor pureza del vital líquido.

Esta planta tiene una capacidad para producir 12 m³/h de agua potable a partir de agua salobre, suficiente para abastecer por gravedad a los más de 1 700 pobladores del asentamiento. Ello permitirá solucionar de manera definitiva los problemas de abasto de esa población oriental, que recibe el agua por medio de carros cisterna con gran gasto de combustible.

El directivo comentó además sobre el proceso de puesta en marcha de otras plantas en diversas regiones del país. Tal es el caso de las cinco que se ejecutan

en Playa Girón (Matanzas). De las cuales una está vinculada al desarrollo del turismo en la zona. Se suman además las que se emplazan en la provincia de Pinar del Río y en las comunidades Dos Amigos (Villa Clara); Lombillo (Camagüey), El Doce (Las Tunas).

1.1.5 Situación local de desalinización

Actualmente la localidad de Cienfuegos no posee ninguna planta de desalinización.

1.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación

Empresa Militar Industrial EMI Astillero Centro Fundada el 5 de septiembre del año 1975 como parte del Distrito Naval Central de la M.G.R. (Marina de Guerra Revolucionaria). Funciona como empresa desde el año 1993. Es una empresa dedicada a reparación y construcción de buques, además por encargo estatal.

Desde el año 2012 tiene una fábrica de productos de higiene y limpieza doméstica e industrial la cual funciona por encargo estatal.

Actualmente proyectan una nueva fábrica de más capacidad para sustituir importaciones de estos productos.

Actualmente en la E.M.I. Astillero Centro, consta con el sistema de abastecimiento de agua potable de la red provincial de Acueducto y Alcantarillado, la cual ha incumplido con la tasa de subastación fijada de 40 m³ al día, debido a la falta de suministro de agua las pérdidas monetarias anuales son de 407 550,00 CUC moneda libremente convertible, dejando de producir 968 600 litros de productos de aseo y limpieza, sumamente importante para la población. Viéndose afectado el Estado debido a la necesidad de rellenar esta carencia de productos con importaciones.

Además, la fábrica cuenta con un proceso de suavizado de agua necesario para la fabricación de estos productos, donde se usa una cantidad considerable de sal (aproximadamente 11 000 kg anual), que trae consigo afectaciones económicas a la empresa y afectaciones al mercado respecto al gran consumo de sal por dicho proceso. Una vez más afectando al mercado social.

1.2.1 Ubicación geográfica de la Empresa

La empresa está ubicada en Cuba, ciudad de Cienfuegos, esquina calle 19 y avenida 58, Reparto Casco Histórico, donde existen grandes afectaciones a la población con el tema de abasto de agua, ya sea de poco flujo recibido por vivienda, o carencia total.

En la figura 1.1 y figura 1.2 observamos que la empresa está situada en una zona con mucho acceso al agua de la bahía, por lo que sería ideal proponer una técnica de desalinización que permita tomar agua de la bahía para convertirla en agua de calidad para la elaboración de estos productos, así se disminuirá el consumo de agua por la empresa, esto conllevaría a que los 40 m³ de agua por día que requiere la empresa no sean tomado de la red municipal, aumentando el flujo para la población.



Figura 1.1 Ubicación geográfica



Figura 1.2 Posible micro localización de la planta a seleccionar

1.2.2 Funcionamiento actual de la fábrica relacionado con el abastecimiento de agua

La empresa cuenta con un sistema de bombeo que aspira de la red de abastecimiento provincial. El sistema usado para aumentar el flujo de entrada de agua es una bomba centrífuga auto aspirante de 6 000 litros/hora, modelo 2G-200 precio: 1 060,00 € (2 unidades una de explotación y otra de repuesto) con un consumo de 1,5 kW, 230 V 9,5 A 3 Fases.

Esos 6 000 litros/hora son tomados del agua de la población, en esta localidad del Reparto Casco Histórico lugar donde está ubicada la empresa, existen problemas de falta de flujo del abastecimiento de agua, este problema puede ser producido debido al alto consumo de agua de esta empresa.

El agua abastecida llega con estado de dureza no apta para la fabricación de estos productos, por esta razón esta agua necesita un tratamiento de suavizado. Actualmente se usa un equipo suavizador de agua por intercambio iónico. El conlleva a un consumo de sal con un valor promedio de 1 000 kg mensuales para

este proceso. Esta sal es comprada por la empresa a un valor de 0,45 CUP el kg, lo que equivale a 450,00 CUP mensuales. Una vez más afectando a la sociedad debido al alto consumo de sal por este proceso y la alta demanda en la población.

1.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación

- Lograr un fluido abastecimiento de agua para la producción de los productos de higiene y limpieza.
- Eliminar la dependencia del suministro de agua por terceras entidades
- Sustituir el intercambio iónico usado actualmente, ya que a través de otros procesos de desalinización obtendríamos agua potable y de baja dureza.
- No afectar a la población, ya sea disminuyendo el consumo de agua de la fábrica, disminuyendo o eliminando el alto consumo de sal, no dejar de producir productos de higiene y limpieza con fin de abastecimiento y comercialización a dicha población.

1.4 Posible tecnología a usar “Osmosis Inversa”

La ósmosis inversa (R.O., Reverse Osmosis) es una técnica de desmineralización basada en membranas y usada para separar sólidos disueltos, tales como iones, de una solución.

Las membranas en general actúan como barreras permeables selectivas que permiten que algunas sustancias (como el agua) permee a través de ellas mientras retiene otras sustancias disueltas (como iones).

R.O. ofrece la filtración más fina actualmente disponible, rechazando la mayoría de los sólidos disueltos y suspendidos, 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.

1.4.1 El principio de funcionamiento

Para entender el proceso de la ósmosis inversa, empecemos por recordar la ósmosis natural, mecanismo de transferencia de nutrientes en las células de los seres vivos a través de las membranas que la recubren.

En tal sentido, cuando se ponen en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones de un determinado soluto (por ejemplo, sales), se genera un flujo de solvente (por ejemplo, agua) desde la solución más diluida a la más concentrada, hasta igualar las concentraciones de ambas.

Es decir, si ponemos en contacto, a través de una membrana, agua salada y agua destilada obtendremos un equilibrio entre ambas y quedarán moderadamente saladas. El agua que atraviesa la membrana es "empujada" por la presión osmótica de la solución más salada y el equilibrio del proceso se alcanza cuando la columna hidrostática iguala dicha presión osmótica.

De aquí se deduce que si nuestro interés en el tratamiento es obtener una corriente de agua lo más diluida posible deberemos invertir el fenómeno. Para ello

hay que vencer la presión osmótica natural mediante la aplicación en sentido contrario de una presión mayor.

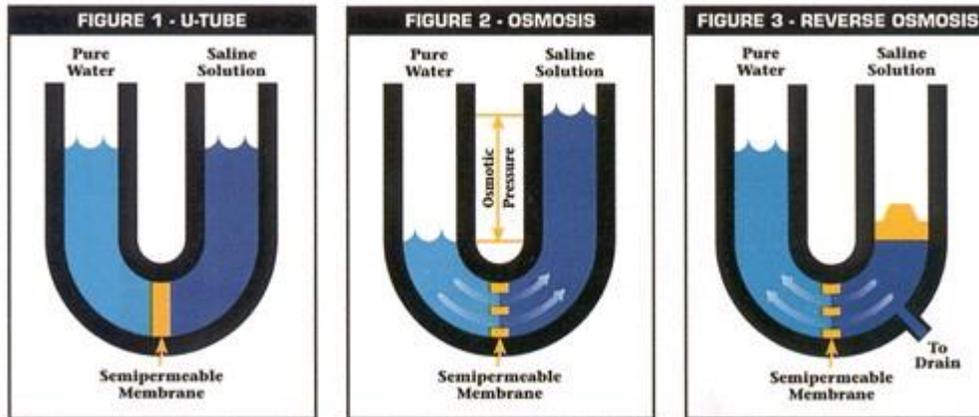


Figura 1.3 Osmosis inversa

Cuando se logra invertir el fenómeno estamos en presencia de ósmosis inversa o invertida como se ha dado en llamarla.

En resumen: si a una corriente de agua salada se le aplica una fuerte presión, lograremos obtener un equilibrio distinto del anteriormente descrito en el cual se generan simultáneamente dos corrientes:

- Una que es la que atraviesa la membrana, queda libre de sólidos disueltos (minerales, materia orgánica, etc.) y de microorganismos (virus, bacterias, etc.): producto o permeado.
- La otra se va concentrando en esos mismos productos sin que lleguen a depositarse en la membrana, porque la taparían y se eliminarían en forma continua, constituyendo el concentrado.

1.4.2 Desempeño de la osmosis inversa

La unidad de ósmosis inversa es capaz de eliminar cantidades sustanciales de la mayoría de productos químicos inorgánicos (tales como sales, metales, minerales), la mayoría de microorganismos, incluidas las cryptosporidium y giardia, y la mayoría (pero no todos) contaminantes inorgánicos.

La ósmosis inversa trata con éxito el agua con minerales disueltos y metales como el aluminio, arsénico, bario, cadmio, cloruro, cromo, cobre, flúor, magnesio, hierro, plomo, manganeso, mercurio, nitrato, selenio, plata, sulfato y zinc. R.O. también es eficaz con el asbesto, muchos sabores, los productos químicos que producen olores y colores, partículas, los sólidos disueltos totales, turbiedad, y el radio. Cuando se utiliza un pre-filtrado de carbón activado (algo común en la mayoría de sistemas osmosis inversa), también se puede proporcionar tratamiento adicional para contaminantes orgánicos volátiles (COV) como el benceno, tricloroetileno, trihalometanos, y el radón.

En esencia, la ósmosis inversa es capaz de rechazar las bacterias, sales, azúcares, proteínas, partículas, colorantes, metales pesados, cloro y subproductos relacionados, y otros contaminantes que tienen un peso molecular superior a 150-250 daltons. La separación de iones con ósmosis inversa es ayudada por las partículas cargadas. Esto significa que los iones disueltos que llevan una carga, tales como sales, son más propensos a ser rechazados por la membrana que los que no se cargan, como los orgánicos. Entre más grande es la carga y cuanto mayor sea la partícula, más probablemente será rechazada.

Tabla 1.1 Índices de rechazo típicos de una membrana osmosis inversa

ÍNDICES DE RECHAZO DE LA OSMOSIS INVERSA			
El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para quitar y para rechazar una variedad amplia de impurezas.			
Aluminio	97-98%	Fosfato	99+%
Amonio	85-95%	Polifosfato	98-99%
Arsénico	94-96%	Hierro	98-99%
Bacterias	99+%	Plomo	96-98%
Bicarbonato	95-96%	Magnesio	96-98%

Capítulo I: Fundamentos científicos que sustentan la investigación

Bromuro	93-96%	Potasio	92%
Cadmio	96-98%	Pirógenos	99+%
Calcio	96-98%	Radioactividad	95-98%
Cloro	94-95%	Radio	97%
Cromato	90-98%	Selenio	97%
Cromo	96-98%	Silicona	85-90%
Cobre	97-99%	Silicato	95-97%
Cianuro	90-95%	Plata	95-97%
Ferrocianuro	98-99%	Sodio	92-98%
Fluoruro	94-96%	Sulfuros	99+%
Hierro	98-99%	Sulfato	96-98%
Plomo	96-98%	Zinc	98-99%
Magnesio	96-98%	* Virus	99+%
Manganeso	96-98%	* Insecticidas	97%
Mercurio	96-98%	* Detergentes	97%
Níquel	97-99%	* Herbicidas	97%
Nitrato	93-96%	% TDS	95-99%

(*) *Estimaciones conservadoras*

Nota: El rechazo de gases es 0%, lo cual significa que la concentración en el permeado será la misma que en el abastecimiento y en el concentrado. Los gases que no son rechazados incluyen el cloro libre y el dióxido de carbón.

1.4.2.1 Costo de producción

El costo de desalinizar con tecnología R.O. ha disminuido drásticamente en los últimos 20 años hasta un valor inferior a USD 0,50/m³. Una de las razones para esta disminución es la reducción de los costos unitarios de las membranas combinada con el incremento de la productividad (flujo) y rechazo. Otro factor significativo de la reducción de costo es la disminución en el costo de la energía gracias a desarrollo de nuevos dispositivos de recuperación de energía. Adicionalmente, las mejoras en las tecnologías de pretratamiento y un mejor entendimiento de la parte operativa que ha permitido incrementar la vida útil de las membranas y por tanto reducir los costos asociados a la limpieza y reemplazo de las mismas.

Tabla 1.2- Costos de producción de agua en una planta desalinizadora de agua de mar

COMPONENTES DEL COSTO DE PRODUCCIÓN	USD/m³
Electricidad (USD 0,60/kWh)	0,180-0,240
Reemplazo de membranas R.O. (5 años de vida útil)	0,025-0,035
Reemplazo de membranas MF (7 años de vida útil)	0,019-0,030
Mantenimiento y repuestos	0,023-0,038
Mano de obra	0,030-0,044
Costo Total	0,28-0,39

Nota: Es importante notar que el costo total de producción depende no solo de estado actual de la tecnología sino de que tan bien este estructurado la implementación y financiación del proyecto.

1.4.2.2 Consumo de energía

Actualmente la energía usada por un sistema osmosis inversa es de 2,2 hasta 2,7 kWh/m³ de agua dulce producida sobre la base de un 50% de recuperación.

1.4.2.3 Ventajas

- Una muy alta tasa de rechazo para una amplia gama de contaminantes
- Muy rentable en el largo plazo; bajo costo por como 5 centavos de dólar por galón de agua pura.

1.4.2.4 Desventajas

- requiere de prefiltración de sedimentos y de carbono prefiltración (generalmente incluido como parte del sistema) para evitar que la membrana se obstruya.
- Como la ósmosis inversa trabaja en contra de la presión osmótica estándar, el proceso es bastante lento en general. Además, se produce agua de desperdicio.

1.4.2.5 Mantenimiento

El desempeño de la membrana tiende a deteriorarse con el tiempo debido a una combinación de desgaste del material y a la obstrucción irreversible de los elementos de la membrana. Típicamente los elementos de la membrana deben ser reemplazados cada 5-7 años para mantener su desempeño en términos de calidad del agua y consumo de potencia para la separación de sales.

1.4.3 Sistema típico de osmosis inversa

Un sistema típico con membranas de R.O. consiste en tres subsistemas separados: pretratamiento, el proceso de membrana y distribución.

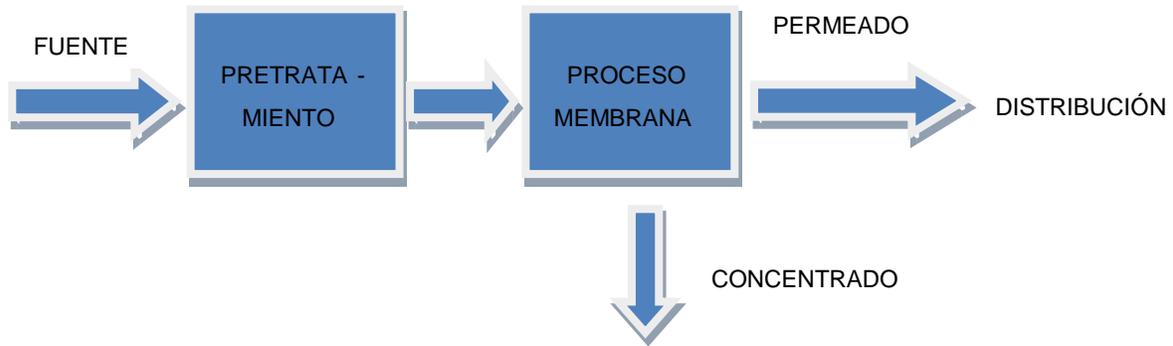


Figura 1.5 Sistema típico de ósmosis inversa

Nota: Hoy en día casi todas estas plantas de R.O. vienen diseñadas con su respectivo mecanismo de pretratamiento.

1.5 Membranas

El desempeño de los sistemas de los sistemas de ósmosis inversa (R.O.) está caracterizado por dos parámetros: flujo de permeado y rechazo de sales. Este desempeño depende del material y estructura de la membrana.

1.5.1 Materiales de membranas

Los materiales más comunes son el acetato de celulosa (y sus derivados) y las poliamidas aromáticas (referidos como compuestos de película delgada). La Tabla 1.3 muestra un resumen general de las ventajas y desventajas claves de las membranas de celulosa y de película de delgada, aunque de tenerse presente que las propiedades y características varían según el fabricante y la membrana específica.

Tabla 1.3 Comparación de las membranas de película de delgada y de acetato de celulosa

PARAMETRO	MEMBRANA DE PELICULA DELGADA DE POLIMEROS	MEMBRANA DE ACETATO DE CELULOSA
Rechazo de sales	Más Alta (> 99,5%)	Más baja (Hasta 95%)
Rechazo de Sílice	> 96%	≈85%
Presión Neta	Más baja (10-15 bars ⁶)	Más alta (15-30 bars)
Carga en la superficie	Más negativa (Limita el uso de coagulantes catiónicos en el pretratamiento)	Neutral (no limitaciones en pretratamiento con coagulantes)
Tolerancia al cloro	Pobre (hasta 1000 ppp-h. Necesita decloración)	Aceptable (continuo uso de 1-2 ppm de cloro es aceptable)
Frecuencia de limpiado	Más alta (semanas a meses)	Más baja (meses a años)
Requerimientos de pretratamiento	Alto (SDI < 4)	Más bajo (SDI < 5)
Tolerancia a la obstrucción	Aceptable	Buena
Remoción de Orgánicos	Alta	Relativamente más baja
Bio-obstrucción	Más susceptible	Menos susceptible

Bio-degradación	Ninguna	Más alta
Tolerancia al pH	Alta (2-13)	Limitada (4-8)
Temperatura	Hasta 30°C	Hasta 45°C

$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi} = 100 \text{ kPa}$

Principalmente debido a las mejores características de rechazo y a las menores presiones de trabajo, las membranas compuestas de película delgada son más usadas en las aplicaciones de tratamiento de agua. La excepción son las aplicaciones con fuentes de agua ricas en orgánicos, para las cuales las membranas de acetato ofrecen significativos beneficios en términos de limitada bio-obstrucción de la membrana, limpieza y pretratamiento necesario.

1.5.2 Clasificación según rendimiento

Los tres parámetros más importantes para evaluar el rendimiento de una membrana de R.O. son: rechazo de sales, flujo/productividad y presión de operación. Las membranas compuestas de película delgada disponibles comercialmente pueden ser clasificadas, según uno a más de estos parámetros, en los siguientes grupos:

- Membranas de rechazo estándar
- Membranas de alto rechazo
- Membranas de alta productividad (o baja energía)
- Membranas de alta presión

1.5.2.1 Membranas de rechazo estándar

Las membranas de rechazo estándar están diseñadas para remover el 99,6% de las sales de la fuente de abastecimiento.

1.5.2.2 Membranas de alto rechazo

Las membranas de alto rechazo están diseñadas con estructuras más ajustadas permitiendo incrementar la masa de rechazo de iones y rechazar iones de menor tamaño, tales como el boro, por ejemplo. Su capacidad de rechazo es del 99,75% al 99,85% al precio de un 10 al 20% más de presión de operación.

1.5.2.3 Membranas de alta productividad (baja energía)

Las membranas de alta productividad son diseñadas con características para producir más agua producida por elemento de membrana. Estas características son: (1) mayor superficie y (2) empaquetado más denso. El aumento del área activa de superficie de membrana permite un aumento significativo de la productividad usando el mismo tamaño (diámetro) del elemento de membrana.

1.5.2.4 Membranas de alta presión

El objetivo de este tipo de membranas es producir agua fresca de agua de mar concentrada con salinidad de 50 000-60 000 mg/L y son usadas para maximizar el agua recuperada a partir de un volumen de agua de abastecimiento dado.

Mientras una membrana estándar permite solo recuperar hasta un 50% del agua de abastecimiento, las membranas de alta presión son adecuadas para obtener recuperaciones del 60% y superiores.

1.5.3 Parámetros de las membranas

La Figura 1.6 muestra un elemento de una membrana, así como los parámetros básicos para describir el flujo, concentración y presión.

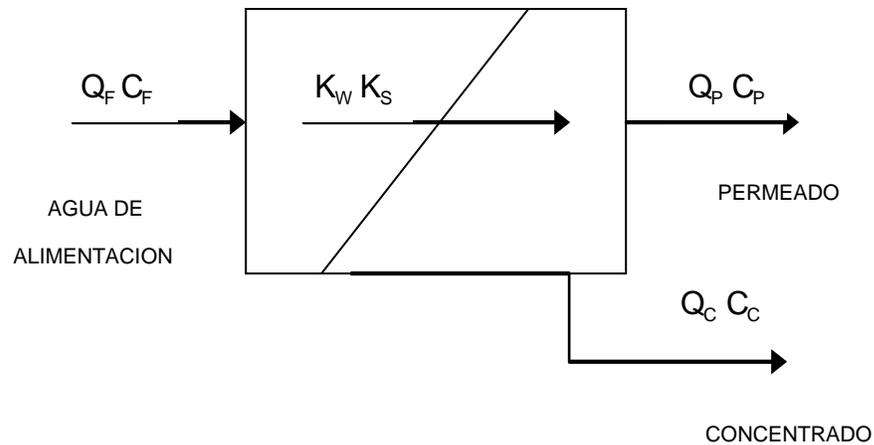


Figura 1.6 Diagrama de permeado de R.O.

Se aplican las siguientes definiciones y ecuaciones:

Q_F = Tasa de flujo de agua de alimentación en unidades de volumen por tiempo, v. gr. gpd (galones por día)

Q_P = Tasa de flujo de permeado en unidades de volumen por tiempo, v. gr. gpd

Q_C = Tasa de flujo de concentrado en unidades de volumen por tiempo, v. gr. gpd

C_F = Concentración de soluto en el agua de alimentación en unidades de masa, v. gr. mg/L

C_P = Concentración de soluto en permeado en unidades de masa, v. gr. mg/L

C_C = Concentración de soluto concentrado en unidades de masa, v. gr. mg/L

K_W = Coeficiente de transferencia de masa de agua en unidades de flujo de agua por presión, v. gr. gpd/ft²/psi

K_S = Coeficiente de transferencia de masa de soluto en unidades de longitud por tiempo, v. gr. ft/d

1.5.4 Formulario

Balance de masa para el flujo de agua

$$Q_F = Q_P + Q_C$$

Ec.1.1

Balance de masa para el flujo de soluto

$$Q_F C_F = Q_P C_P + Q_C C_C \quad \text{Ec.1.2}$$

Flujo de membrana

Tasa de flujo de permeado por unidad de área de membrana. Se expresa en metros cúbicos por metro cuadrado ($\text{m}^3/\text{s m}^2$) o galones por día por pie cuadrado (gfd) del área de superficie de la membrana activa.

Recuperación (R)

La razón entre el volumen de agua producido por el sistema de membrana (Q_P) y el volumen de agua de suministro (Q_F) para esta producción es comúnmente definido como recuperación y se expresa como un porcentaje del volumen de agua de abastecimiento

$$R = \frac{Q_P}{Q_F} \quad \text{Ec.1.3}$$

Factor de concentración (CF)

Razón de la concentración de solutos en el flujo de concentrado (C_C) a la concentración de solutos en el flujo de alimentación (C_P).

$$CF = \frac{C_C}{C_P} \quad \text{Ec.1.4}$$

Si se asume una concentración muy baja en el permeado, entonces el CF puede aproximarse por:

$$CF = \frac{Q_F}{Q_C} = \frac{1}{1 - R} \quad \text{Ec.1.5}$$

Donde R = Recuperación expresado como un decimal

Para un cálculo más preciso, si conocemos el paso de sales (o el rechazo de sales), el factor de concentración puede ser calculado como:

$$CF = \frac{[1 - (R \times SP)]}{1 - R} \quad \text{Ec.1.6}$$

Donde R y SP se expresan como decimales.

La calidad del concentrado también puede ser predicha con base en un modelo de difusión si se conoce la presión de operación, la calidad del agua de abastecimiento, el porcentaje de recuperación y el coeficiente de transferencia de masa de soluto.

Paso de sales (SP)

Se refiere al porcentaje de sales disueltas del agua fuente (C_F) que pasan a través de la membrana al agua producida (C_P)

$$SP = \frac{C_P}{C_F} \times 100\% \quad \text{Ec.1.7}$$

Rechazo de sales (SR)

La concentración de sales en el agua de abastecimiento (C_F) que es rechazada por una membrana. Se calcula como:

$$SR = \left(\frac{C_F - C_P}{C_F} \right) \times 100\% = 100\% - SP \quad \text{Ec.1.8}$$

Cada membrana tiene la habilidad de rechazar un cierto porcentaje de las sales presentes en el agua de alimentación. La mayoría de las membranas R.O. pueden rechazar del 95 al 99,5% de las sales de agua de abastecimiento.

Polarización de concentración

Mientras el agua permea a través de la membrana, la materia rechazada se acumula detrás de la membrana y forma una capa de alta concentración de sales que incrementa la presión osmótica y reduce la permeabilidad. El fenómeno de formación de esta capa cercana a la membrana y con mayor concentración relativa de sales respecto de la solución de alimentación se llama polarización de concentración. La razón de la concentración de sal cercana a la pared de membrana sobre la concentración en el flujo general se conoce como factor β (beta).

CAPITULO II



CAPITULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Introducción al capítulo

Generalmente, las metodologías estudiadas para analizar las mejores alternativas de inversión en un primer paso, se fundamentan en criterios económicos a partir de propuestas realizadas por asesores, grupos de proyectos, personas guiadas por técnicas grupales, pero en muchos casos sin considerar directamente otros indicadores como impactos sociales, ambientales, o en el mejor de los casos sin una evaluación certera de estos indicadores. Para que la metodología que se proponga sea eficaz debe ser capaz de incorporar varios objetivos incluyendo la evaluación de indicadores cualitativos, además, debe ser flexible, realista y relativamente fácil de implementar.

En este capítulo se desarrollará la metodología mostrada en el diagrama heurístico de la Figuras 2.1, que implica la aplicación de métodos multicriterio que incorporan criterios de evaluación cualitativos y cuantitativos. Además, metodología para la selección de los accesorios requeridos.

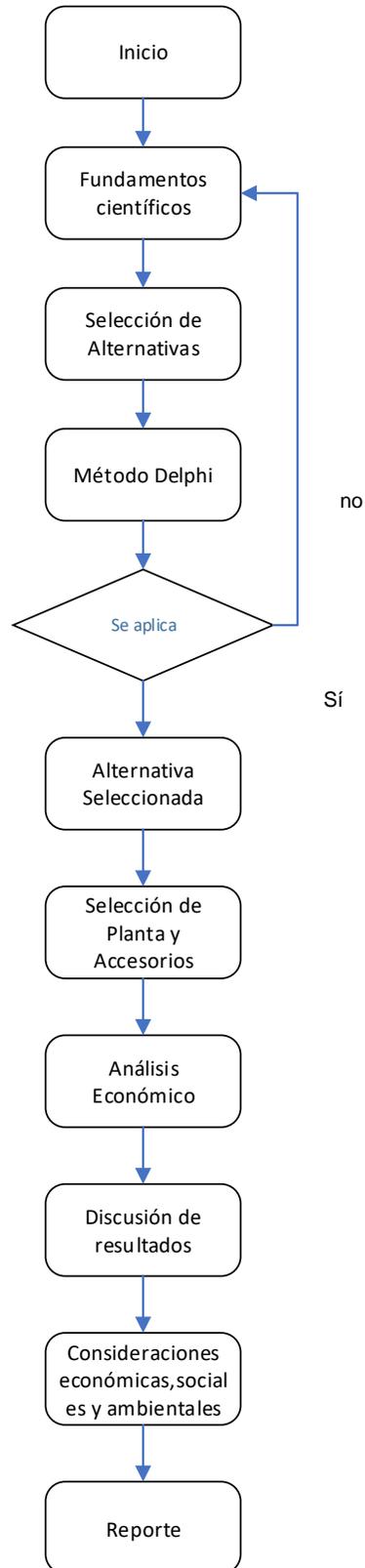


Figura 2.1 Diagrama Heurístico. Metodología usada. Fuente: Elaboración propia

2.2 Fundamentos científicos

El futuro de la desalinización se centra en el desarrollo de varias tecnologías nuevas con el objetivo de reducir el consumo de las plantas. También el desarrollo de procesos que utilicen energías renovables. Unos ejemplos de tecnologías en desarrollo son:

- La desalinización por adsorción: Es uno de los procesos con mayor eficiencia de los que se encuentran en desarrollo. Este proceso puede utilizar la energía solar para desalinizar el agua, sin embargo, todavía existen problemas relacionados con el gran coste de inversión inicial.
- Desalinización por membrana: Un proceso de baja energía impulsada térmicamente que utiliza una membrana hidrófoba para separar el agua por equilibrio líquido vapor. Sin embargo, es necesario seguir desarrollando este proceso, ya que actualmente el proceso tiene muy poca eficiencia energética.

Los métodos en los cuales se separa el agua de las sales, utilizando como energía vapor y como proceso la evaporación, son la destilación solar, la destilación súbita múltiple, la destilación con tubos sumergidos, la destilación multiefecto con tubos horizontales o verticales y la compresión mecánica o térmica de vapor. También se puede separar el agua de las sales usando frío, con un proceso por cristalización, con un sistema de formación de hidratos o de congelación. Por último, si se utiliza la presión como energía y se usan membranas en el proceso, el sistema será de osmosis inversa.

Los métodos en los cuales se separan las sales del agua, utilizando energía eléctrica y membranas son electrodiálisis u osmosis directa. Si se utilizan procesos químicos y resinas, serán sistemas de intercambio iónico. Y por último si se utilizan disoluciones y disolventes el sistema será de extracción con disolventes.

Hoy en día se encuentran obsoletos el sistema de destilación por tubos sumergidos y la destilación multiefecto, aunque fueron los primeros en

desarrollarse. Otro sistema no viable es el de congelación, ya que todavía se encuentra en desarrollo.

Los sistemas que son viables para su aplicación industrial son la evaporación súbita flash (MSF), la destilación múltiple efecto (MED), la termocompresión de vapor (TVC), la compresión de vapor mecánica (CV), la electrodiálisis (ED) y la osmosis inversa (R.O.).

2.2.1 Selección y estudio de alternativas

Debido a la ubicación de la Empresa aledaña a la bahía de Cienfuegos, propondré alternativas de obtención de agua potable o tecnológica que permita que la fuente de abastecimiento sea agua de mar, más conocidas como tecnologías desalinizadoras. Cualquiera de estas tecnologías que sean capaces de satisfacer el abasto de agua requerido será una alternativa a tener en cuenta para la elección por el método multicriterio.

2.2.1.1 Evaporación súbita flash (MSF)

El proceso consiste en la destilación de agua de mar y la condensación posterior del vapor obtenido, recuperando el calor latente para calentar más agua de mar y repetir el proceso.

Como la transmisión de calor no es con área infinita y no tiene un infinito número de etapas, el proceso debe disponer de una fuente externa que aporte calor y aumente la temperatura para que el proceso no se detenga.

Este es el sistema más utilizado globalmente porque los resultados son buenos independientemente de la calidad del agua bruta y que, debido a la gran facilidad para encadenar varios de estos procesos en cascada, la capacidad de producción es muy alta.

El gran inconveniente de la destilación súbita es el gran consumo de energía que necesita para producir un metro cúbico de agua producto.

2.2.1.2 Destilación multiefecto con tubos horizontales (MED)

Este proceso también consiste en evaporar el agua de mar, condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación del vapor para calentar más agua de mar.

El coste de inversión es mayor que en el sistema de MSF, pero es más sencilla de operar y tiene un coste de operación menor. Este sistema se ha utilizado en plantas de tamaño medio, y es muy aconsejable cuando se aprovechan los calores residuales procedentes del vapor de escape de las turbinas, motores diésel, turbinas de gas, etc., en las instalaciones de cogeneración y cuando no se pueden aplicar otros procesos.

2.2.1.3 Termocompresión de vapor y compresión mecánica

Los procesos de destilación que utilizan la compresión de vapor se utilizan para plantas de pequeña dimensión. La energía que se va a utilizar para evaporar el agua proviene de la compresión del vapor, en lugar de por contacto directo.

La compresión mecánica utiliza energía eléctrica. Es el más utilizado, y su funcionamiento se basa en la utilización de un compresor mecánico para transmitirle al agua la energía necesaria para que se evapore.

El sistema de compresión térmica se basa en la creación de un chorro de vapor a través de un orificio tipo Venturi y extrae el vapor de agua creando un vacío.

2.2.1.4 Osmosis inversa

La osmosis directa es un proceso que ocurre en la naturaleza cuando 2 soluciones, con diferentes concentraciones, se ponen en contacto una con otra, separadas por una membrana semipermeable, existe una circulación natural de la solución menos concentrada a la solución más concentrada para igualar las concentraciones finales. A la diferencia de altura que se genera entre las dos soluciones se le llama presión osmótica.

El proceso de osmosis inversa consiste en aplicar una presión externa mayor que la presión osmótica entre las dos soluciones para conseguir la inversión del

proceso, es decir, que exista circulación de la solución con menos sales a la solución con más sales.

El sistema es recomendable para plantas desalinizadoras porque, aunque el agua no es tan pura como la obtenida con los procesos de destilación, sí es lo suficientemente pura para cumplir con los requisitos necesarios para su consumo.

Este proceso de desalinización es uno de los más utilizados ya que el consumo eléctrico es menor que el de los procesos de destilación. Además, la energía utilizada depende de la concentración del agua bruta. Se adapta fácilmente a las necesidades de agua producto de la zona y los costes de inversión son significativamente menores que en los procesos de destilación.

Algunas ventajas de este proceso son:

- Es un proceso muy efectivo

En la creación de agua apta para el consumo humano, el método de la osmosis inversa ha demostrado ser efectiva. Las plantas desalinizadoras, cuando son diseñadas correctamente, son capaces de crear agua de buena calidad.

- La fuente de alimentación es el océano

El agua de mar puede servir como fuente de recursos ilimitados, incluso suponiendo que toda el agua que se consumiera en la tierra proviniera de la desalinización. Esto permitiría que, incluso en épocas de sequía, la población mundial tuviera acceso al agua para consumo y para agricultura.

- Puede eliminar las crisis derivadas de la falta de agua

En muchas partes del mundo se producen crisis debido a la sequía y, como esta agua es de fácil acceso y en cantidad prácticamente ilimitada, la tecnología podría utilizarse para paliar estas crisis.

- Puede preservar los actuales recursos

Se debe hacer hincapié en preservar al máximo los recursos de agua dulce disponibles en el planeta, ya que estos son limitados. De esta forma se podría reservar estos recursos para situaciones de escasez.

- Las plantas se construyen en lugares adecuados

Las plantas desalinizadoras se construyen lejos de zonas residenciales, se sitúan en emplazamientos industriales para no exponer a la población a ningún tipo de riesgo. Además, una única planta puede producir más de 500 millones de litros apta para el consumo humano, simplemente cambiando los métodos de obtención actuales.

También tiene algunos inconvenientes:

- El impacto ecológico de la salmuera

La salmuera, producto de desecho que se genera a partir del proceso de desalinización es altamente contaminante. Consiste en un líquido con elevada cantidad de sales, y esto puede provocar la muerte a fauna y flora del medio donde se vierte. Además, otros agentes contaminantes que intervienen en el proceso son los productos químicos utilizados en la limpieza, como el cloro o los antiincrustantes.

2.2.1.5 Electrodiálisis

Este proceso consiste en la desmineralización del agua de mar haciendo que los iones de distinto signo se muevan hacia otras zonas, aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos. Para ello se utilizan membranas selectivas que permitan el paso de los iones en el agua salada.

Es un proceso que únicamente puede separar sustancias que estén ionizadas, por lo que se reduce mucho su utilidad y rentabilidad para otro tipo de aguas no salobres. Aun así, es un proceso que tiene un consumo eléctrico semejante al de la osmosis inversa.

2.2.1.6 Criterio Personal sobre técnicas de obtención de agua potable

Las mejores técnicas de desalinización del agua son la MSF y la osmosis inversa, ya que son las únicas que permiten una producción suficientemente elevada.

En la planta desalinizadora que se va a diseñar, mi criterio es optar por un sistema de osmosis inversa, ya que permite la desalación de agua de mar. Además, su

capacidad de producción es alta y el consumo energético es bajo, lo que ayudará a obtener un precio competitivo del metro cúbico.

2.3 Metodología para la aplicación de Criterio de expertos

La técnica de criterio de expertos permite ordenar criterios o factores a partir de la votación de los expertos. Tiene los siguientes pasos: selección del número de expertos elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos, a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto, determinar el nivel de concordancia y realizar la validación del criterio de expertos.

2.3.1 Selección del equipo de trabajo (expertos)

Para la selección de los expertos se debe dilucidar el nivel de competencia de los candidatos, proponiéndose usar la metodología aprobada en febrero de 1971 por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de la antigua URSS para la elaboración de pronósticos científico-técnicos, la que es descrita por Oñate et al. (1988). En esta metodología la competencia se determina mediante un coeficiente K , el que se calcula como la semisuma (ecuación 2.1) de un coeficiente (K_c) que valora el nivel de conocimientos sobre el tema investigado y otro (K_a) que establece una medida de las fuentes de información.

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a) \quad \text{Ec.2.1}$$

Para estimar los coeficientes K_c y K_a se elabora una encuesta donde los candidatos realizan una autoevaluación. Previo a esto cada candidato debe ser informado del contexto e importancia del estudio con el propósito de conseguir su compromiso. Una vez obtenidas las autoevaluaciones el coeficiente K_c se calcula como el promedio de los valores (V_c) que los candidatos les confieren a los aspectos de la encuesta (n_c) multiplicado por el factor 0,1 como se muestra en la ecuación 2.2.

$$K_c = 0,1 \times \sum_{i=1}^{n_c} \frac{V_{C_i}}{n_c} \quad \text{Ec.2.2}$$

El coeficiente de argumentación se calcula como la sumatoria del grado de influencia de cada una de las fuentes de conocimiento de los candidatos (V_a) tal como se muestra en la ecuación 2.3. Los valores a asignar en dependencia de la respuesta aparecen representados en la Tabla 2.1.

$$K_a = \sum_{i=1}^6 V a_i \quad \text{Ec.2.3}$$

Debido a la escala utilizada se asegura que $K \in (0,1]$. Luego la competencia del candidato se estima en alta si $K \geq 0,8$, media si $0,5 \leq K < 0,8$ y baja si $K < 0,5$. La selección del número de expertos n se determina empleando un método probabilístico a partir de la ecuación 2.4.

$$n = \frac{p \times (1 - p) \times k}{i^2} \quad \text{Ec.2.4}$$

Tabla 2.1 Escala para la determinación del coeficiente de argumentación

		Grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación		
Número	Fuentes de argumentación	Alto	Medio	Bajo
1	Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
2	Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2

3	Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
4	Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
5	Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05
6	Su intuición	0,05	0,05	0,05

En esta n representa el número de expertos, p la proporción del error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos, i la precisión del experimento y k una constante que depende del nivel de significación estadística ($1-\alpha$) la que es obtenida a partir de la Tabla 2.2. Hay que destacar que $p \in (0,1)$ y para lograr resultados confiables se recomienda que $i \leq 0,12$. Se seleccionarán entonces para el estudio los n expertos cuyos coeficientes K sean mayores recomendándose que todos tengan una competencia alta.

Tabla 2.2 Coeficientes de significación estadística

1- α	K
99 %	6,6564
95 %	3,8416
90 %	2,6896

Tomando como base para el cálculo un error del 10%, para un nivel de confianza del 95% y el valor de i medio de 0.2 se calcula el número de expertos.

M=8.6 expertos, es decir, se requieren de 9 expertos para realizar el primer análisis con un 10 % de error en la estimación.

2.3.2 Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto.

Al aspecto de mayor importancia se le concede 10 puntos y así en orden decreciente hasta 1 punto al de menor importancia o viceversa. Esta matriz se presenta en la Tabla 2.3 a partir de los resultados obtenidos por la encuesta a cada experto según el formato que se presenta en la tabla.

Tabla 2.3 Matriz con los datos de la desviación del valor medio, Fuente: Elaboración propia

No	Requisitos	Expertos									A _{ij}	Δ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		

M es el número de expertos, A_{ij} es el juicio de importancia del experto i sobre el requisito j, Δ es la desviación del valor del medio que se calcula.

$$\Delta = \sum A_{ij} - \tau \tag{Ec.2.5}$$

τ = factor de comparación (valor medio de los rangos) que se calcula.

τ = ½ M (K+1) donde K es el número de requisitos a evaluar.

2.3.3 Nivel de concordancia

El valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos se determina por el estadígrafo Kendall ω . El valor ω oscila entre 0 y 1. Para valores mayores de 0.7 se debe aceptar la decisión, para valores entre 0.45 y 0.7 se debe continuar el análisis y para valores menores de 0.45 se deben rechazar las decisiones de los expertos.

Se calcula el coeficiente de concordancia de Kendall:

$$\omega = \frac{\sum \Delta^2}{M^2} (K^3 - K) \quad \text{Ec.2.6}$$

2.3.4 Validación del criterio de expertos

Se realiza una prueba de hipótesis donde:

Ho: $\omega = 0$

Para muestras grandes $k > 7$ y se utiliza de criterio de si x^2 calculado $> x^2$ tabla, α , y $f = K-1$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos:

$$x^2 \text{ calculado} = m(K - 1) \quad \text{Ec.2.7}$$

2.3.5 Método Delphi

El método Delphi es una ligera modificación del anterior, el mismo consiste en solicitar al experto una ponderación de cada uno de los criterios con una escala preparada al efecto y se procesa la información y se prepara nuevamente la tabla.

Los resultados así obtenidos se les envía a los expertos otra vez preguntándoles si está de acuerdo con las respuestas o si requiere algún cambio. Con los resultados de la segunda respuesta de los expertos se vuelve a procesar la información y se discuten los resultados finales con ellos. En todos los casos se utilizan los criterios de concordancia de Kendall.

2.3.5.1 Selección de los expertos y criterios

Para calcular el número de expertos se asumió una proporción del error $p=0,01$, una precisión del experimento $i=0,2$ y nivel de significación estadística $(1-\alpha) = 95\%$ para dar como resultado que se necesitan aproximadamente 9 expertos para llevar a cabo el proceso de decisión grupal, número de expertos suficientes según autores como Pons y Ramos.

Tabla 2.4 Matriz de rangos con el criterio de los expertos del orden de los elementos del sistema de gestión de la calidad, fuente: Elaboración Propia

Requisitos	Ponderación del experto									$\sum A_{ij}$	Δ	Δ^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Osmosis Inversa												
Electrodialisis												
Evaporación súbita												
Destilación multiefecto c-tubos horizontales												
Termocompresión de vapor y compresión mecánica												

2.4 Metodología para la selección del equipo de bombeo

Para lograr una correcta selección de un equipo de bombeo que se adapte a las condiciones de trabajo y sea capaz de entregar altos valores de eficiencia es necesario aplicar una metodología de cálculo que tenga en cuenta los aspectos principales y las condiciones de operación.

En este epígrafe se presenta la metodología que se seguirá para la selección del equipo de bombeo encargado del suministro de agua al sistema de enfriamiento. La correcta aplicación de esta metodología de cálculo garantiza altos valores de eficiencia y de confiabilidad en la vida útil del equipo.

2.4.1 Cálculo del diámetro de la tubería y la velocidad del fluido.

En los estudios de selección se debe conocer el diámetro y la velocidad del fluido en el sistema, para esto se divide en tramo de succión y descarga, ya que las velocidades recomendadas para estos tramos no son iguales.

2.4.2 Tramo de succión.

Para el tramo de succión la velocidad del fluido debe estar comprendida entre los valores de 1,5 m/s y 2 m/s (División de Ingeniería de CRANE, s.f.), la Tabla 2.5 muestra valores recomendados de velocidad para el flujo de agua en tuberías.

Tabla 2.5 Velocidades utilizadas para el flujo de agua en tuberías. Fuente División de Ingeniería de CRANE, n.d.

Servicio	Velocidad (m/s)
Alimentación de calderas	2,4 a 4,6
Succión de bombas y líneas de descarga	1,2 a 2,1
Servicios generales	1,2 a 3,0
Distribución de agua potable	Hasta 2,1

Utilizando la expresión de continuidad, mostrada en la Ecuación 2.8, es posible determinar el área de la sección transversal de la tubería mediante la Ecuación 2.9.

$$Q = A * V \quad \text{Ec.2.8}$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec.2.9}$$

Donde:

A: Área transversal de la tubería (m²).

Q: Flujo o caudal en la tubería (m³/s).

V: Velocidad del fluido (m/s).

A partir del área puede ser determinada mediante la Ecuación 2.10 el diámetro de la tubería obteniendo la Ecuación 2.11

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{Ec.2.10}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec.2.11}$$

Este no es el diámetro real de la tubería, debe de normalizarse en tablas donde aparecen según el material de la misma.

Con el diámetro real se calcula el área real de la tubería utilizando la Ecuación 2.10. Una vez obtenido el área real de la tubería se recalcula la velocidad del fluido para el tramo de succión, para ello se despeja de la Ecuación 2.1 y se obtiene la Ecuación 2.12:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec.2.12}$$

Importante señalar que a manera de comprobación el valor real de velocidad para el tramo de succión estará comprendido en el intervalo recomendado.

2.4.3 Tramo de descarga.

Para el tramo de descarga la velocidad del fluido debe estar cercana a los 2,5 m/s (División de Ingeniería de CRANE, n.d.). La metodología a seguir para el tramo de descarga es similar al tramo de succión.

2.4.4 Ecuación de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad (División de Ingeniería de CRANE, n.d.), y viene dada por la Ecuación 2.13

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z = H \quad \text{Ec.2.13}$$

Donde:

P: Presión del fluido (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

V: Velocidad del fluido (m/s).

Z: Altura geométrica (m).

H: Carga estática (m).

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido como muestra la Ecuación 2.14.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{\text{sist.}} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum_1^2 hf \text{ total} \quad \text{Ec.2.14}$$

Donde:

P_1, P_2 : Presión del fluido en el punto 1 y 2 respectivamente (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

V_1, V_2 : Velocidad del fluido en el punto 1 y 2 respectivamente (m/s).

Z_1, Z_2 : Alturas geométricas de la línea de referencia hasta los puntos 1 y 2 respectivamente (m).

$\sum_1^2 hf \text{ total}$: Suma de todas las pérdidas hidráulicas entre los puntos 1 y 2 (m).

H : Carga total de impulsión (m).

Dependiendo de las características propias de cada sistema se pueden hacer consideraciones que simplifican la Ecuación 2.14. Es importante definir estas características ya que facilitan el trabajo.

2.4.5 Cálculo del número de Reynolds.

El régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad, la viscosidad y velocidad del fluido. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad (División de Ingeniería de CRANE, n.d.). El número de Reynolds se calcula a partir de la Ecuación 2.15

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{\rho Vd}{\mu} \quad \text{Ec.2.15}$$

Donde:

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido ($\text{Pa}\cdot\text{s}=\text{kg/m}\cdot\text{s}$).

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

V: Velocidad del fluido (m/s).

d: Diámetro de la tubería (m).

2.4.6 Los flujos viscosos se pueden clasificar en laminares o turbulentos teniendo en cuenta la estructura interna del flujo.

Cuando el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre la otra capa adyacente solo con un intercambio molecular de la cantidad de movimiento, se le denomina flujo laminar. En el caso del flujo turbulento las partículas se mueven de forma errática, con un intercambio de la cantidad de movimiento muy violento.

Para estudios técnicos, el régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2 000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4 000. Entre estos dos valores está la zona denominada “crítica” donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación. La experimentación cuidadosa ha determinado que la zona laminar puede acabar en números de Reynolds tan bajos como 1 200 o extenderse hasta los 40 000, pero estas condiciones no se presentan en la práctica.

2.4.7 Pérdidas del sistema.

Las pérdidas hidráulicas disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente la altura útil. Estas se dividen en pérdidas de tramo recto y pérdidas en los accesorios. En el proceso de diseño se busca que los valores de pérdidas sean mínimos sin comprometer el correcto funcionamiento del sistema.

2.4.7.1 Pérdidas de tramo recto o pérdidas de carga por fricción.

Durante el flujo de líquidos por medio de tuberías siempre está presente el rozamiento de las partículas del fluido entre sí, lo que ocasiona una pérdida de presión en el sentido del flujo (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008).

Las pérdidas de tramo recto se calculan de acuerdo a la Ecuación 2.16.

$$\sum hf \text{ t. recto} = \frac{fLV^2}{2dg} \quad \text{Ec.2.16}$$

Donde:

f: Factor de fricción de la tubería o conducto.

L: Longitud total de los tramos rectos de tubería (m).

V: Velocidad del fluido en la tubería (m/s).

d: Diámetro de la tubería (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

Esta expresión es válida tanto para flujo laminar como turbulento. En caso de que el flujo sea laminar el factor *f* se calcula según la Ecuación 2.17.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ec.2.17}$$

Dependiendo del régimen de flujo, existen varias expresiones para el cálculo del factor de fricción *f*, en la Tabla 2.6 se presentan algunas de estas expresiones.

Tabla 2.6 Expresiones del factor de fricción *f* de acuerdo al régimen de flujo

Tipo de Tubería	Régimen	Expresión	Autor
Tuberías Lisas y Rugosas	Laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Blasius

Tuberías Lisas	Turbulento para $Re < 100\,000$	$\lambda = \frac{0,316}{Re^{\frac{1}{4}}}$	Blasius
Tuberías Lisas	Turbulento para $Re > 100\,000$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re * \sqrt{\lambda}) - 0,8$	Keenan-Prandtl
Tuberías Rugosas	Régimen de Transición	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right]$	Colebrook
Tuberías Rugosas	Régimen Turbulento	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{D}{2k} \right) + 1,74$	Keenan-Prandtl

De manera general, el coeficiente f se busca mediante el Diagrama de Moody, Figura 1 del Anexo II, el factor de fricción (f) depende del valor del número de Reynolds y de la relación entre la rugosidad (ϵ) y el diámetro de la tubería (D).

La Tabla 2.7 muestra valores de la rugosidad en función de distintos materiales utilizados frecuentemente en las industrias.

Tabla 2.7 Valores de rugosidad para tuberías comerciales. Fuente Cengel y Cimbala. 2006

Material	Rugosidad, ϵ	
	ft	Mm
Vidrio, Plástico	0	0
Concreto	0,003-0,03	0,9-9
Tuberías de cobre	0,000005	0,0015
Listones de madera	0,0016	0,5
Hierro fundido	0,00085	0,26

Hierro galvanizado	0,0005	0,15
Hierro forjado	0,00015	0,046
Acero inoxidable	0,000007	0,002
Acero comercial	0,00015	0,045
Concreto	0,003-0,03	0,9-9
Tuberías de cobre	0,000005	0,0015
Goma blanda	0,0016	0,5
Tuberías de latón	0,000005	0,0015

2.4.7.2 Pérdidas de accesorios o pérdidas locales.

A las pérdidas provocadas por los cambios de dirección del fluido, obstrucciones y cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno de las tuberías se les denominan pérdidas locales o pérdidas causadas por los accesorios. Cuando el flujo pasa por una válvula o accesorio provoca una reducción en la altura o presión estática (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008).

Las pérdidas de accesorios se calculan de acuerdo a la Ecuación 2.18

$$\sum hf \text{ accesorios} = \sum K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec.2.18}$$

Donde:

K: Coeficiente de resistencia hidráulica local.

V: Velocidad del fluido (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

El coeficiente de resistencia hidráulica local (K) está asociado con el diámetro de la tubería y a la velocidad del fluido. El coeficiente K varía dependiendo del tipo de accesorio, en muchos casos su valor se encuentra en tablas o nomogramas

En el proceso de diseño es importante tener en cuenta que los valores más altos del coeficiente K aparecen en los mecanismos de estrangulamiento o regulación de flujo.

Las Figuras 2.2 y 2.3 muestran algunos de los accesorios y válvulas comúnmente utilizados en el diseño de un sistema de tuberías respectivamente.

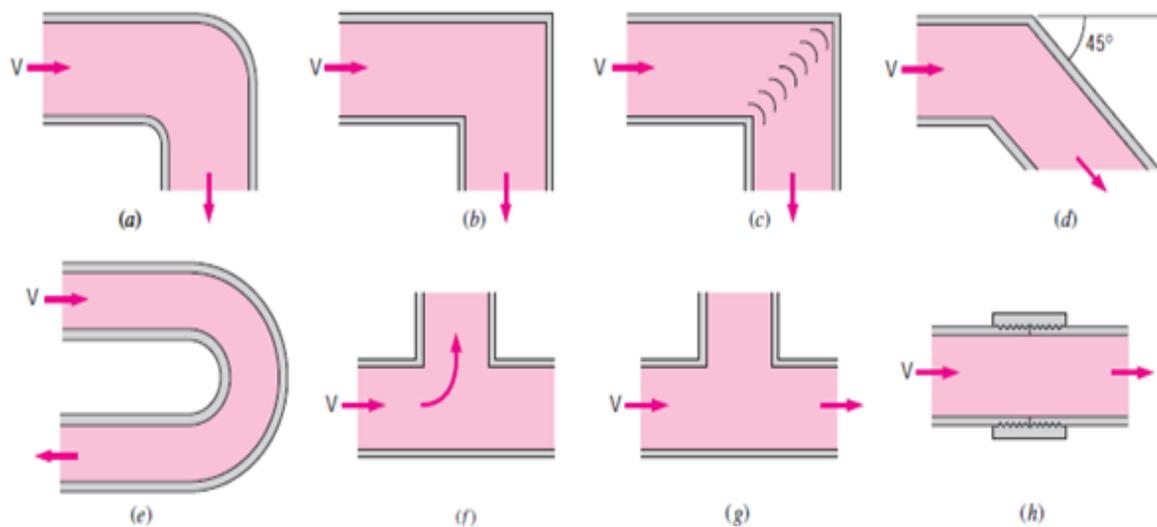


Figura 2.2 Accesorios utilizados en los sistemas de tuberías a) curva de 90° b) codo de 90° sin venas c) codo de 90° con venas d) codo de 45° e) curva de 180° f) Tee con flujo ramificado g) Tee con flujo lineal h) unión roscada. Fuente Cengel y Cimbala, 2006

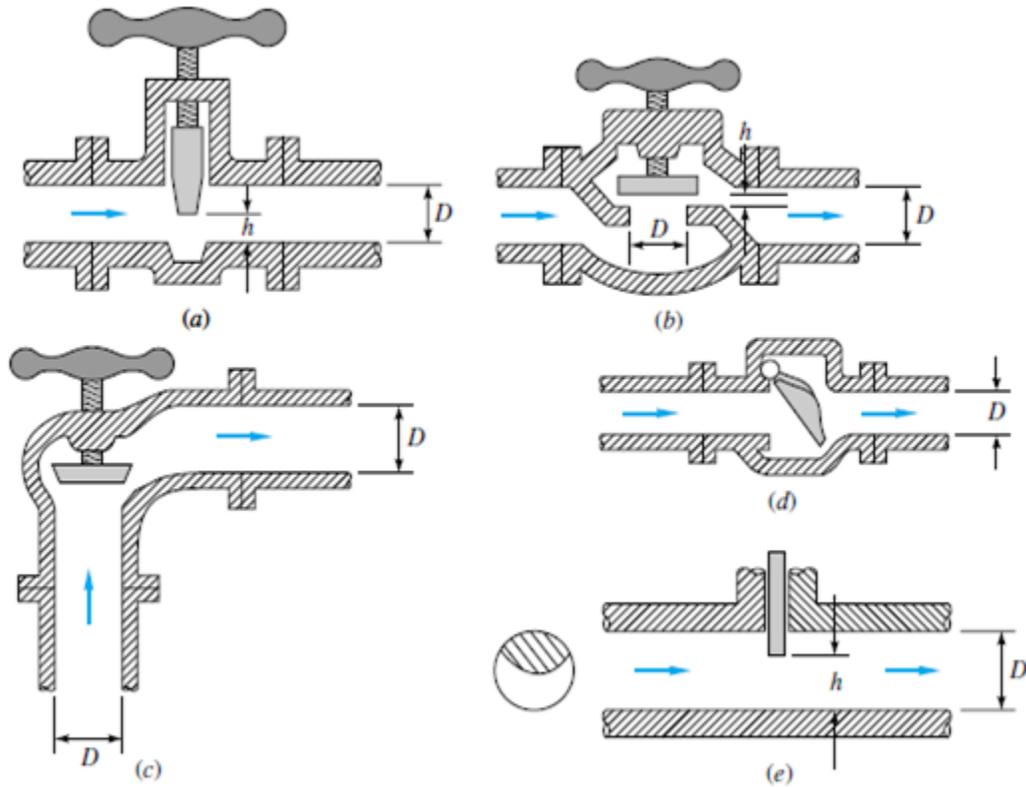


Figura 2.3 Válvulas comerciales típicas a) válvula de compuerta b) válvula de globo c) válvula de ángulo d) válvulas swing-check e) válvula de compuerta de disco. Fuente White, 1999

En la mayoría de los sistemas de bombeo las pérdidas originadas por los accesorios son superiores a las originadas por rozamiento en los tramos rectos de las tuberías. Esto depende de las características propias de cada sistema. Existen algunos sistemas que presentan pocos accesorios en su trazado sin embargo las longitudes de tramo recto son grandes, en estos casos las pérdidas por tramos rectos son mayores a las provocadas por los accesorios.

Por ese motivo no se debe abusar en el uso de los accesorios, su colocación debe estar justificada para que el sistema funcione de forma adecuada y segura. En la Tabla 2.8 se encuentran los valores del coeficiente K para diferentes tipos de accesorios y válvulas dependiendo de su diámetro.

Tabla 2.8 Coeficiente de pérdida K en accesorios y válvulas. Fuente White, 1999

Válvulas y Accesorios	Diámetro nominal (in)			
	½	1	2	4
Válvulas (totalmente abiertas)				
Globo	14	8,2	6,9	5,7
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11
Swing-check	5,1	2,9	2,1	2,0
Ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0
Codos				
Codo de 45°	0,39	0,32	0,30	0,29
Codo de 90°	2,0	1,5	0,95	0,64
Curva de 90°	1,0	0,72	0,41	0,24
Curva de 180°	2,0	1,5	0,95	0,64
Tee				
Flujo lineal	0,90	0,90	0,90	0,90
Flujo ramificado	2,4	1,8	1,4	1,1

Nota: De ser tuberías de un diámetro no nominal se procede a intercalar valores para la obtención del valor requerido de K según el diámetro a usar.

2.4.7.3 Cálculo de pérdidas locales utilizando el método de longitudes equivalentes.

Este segundo método consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir longitudes en metros de un tramo de tubería del mismo diámetro que produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión. Así, en el sistema de tuberías, cada medidor de caudal, codo o cualquier otro accesorio se sustituiría por su longitud de tubería equivalente (L_e). A continuación, se aplica la ecuación fundamental de las pérdidas primarias en la siguiente forma.

$$H_r = \frac{f(L + \sum L_e)v^2}{D \cdot 2g} \quad \text{Ec.2.19}$$

Donde:

H_r : Suma total de las pérdidas primarias y secundarias (m).

f: Coeficiente de fricción.

L: Longitud total de los tramos rectos de tuberías (m).

$\sum L_e$: Suma de todas las longitudes equivalentes de los accesorios (m).

V: Velocidad en la tubería (m/s).

El nomograma de la Figura 2 del Anexo II, es un ejemplo de aplicación de este método. Este nomograma consta de tres escalas: uniendo con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio de que se trata con el punto de la escala derecha correspondiente al diámetro interior de la tubería, el punto de intersección de esta recta con la escala central da el valor de la longitud equivalente (L_e) del accesorio.

2.4.8 Trazado de la característica hidráulica del sistema de tuberías.

Siguiendo los pasos descritos en los epígrafes anteriores se puede llegar al trazado de la curva del sistema de bombeo. La expresión de la curva característica tiene la forma que se muestra en la Ecuación 2.20.

$$H_{\text{sist.}} = A + BQ^2 \quad \text{Ec.2.20}$$

El término B representa las pérdidas totales del sistema, es decir las pérdidas por fricción más las pérdidas locales, expresadas en función del flujo al cuadrado. El término A representa la carga estática y se calcula mediante la diferencia de los parámetros del fluido en los puntos donde se aplica la Ecuación de Bernoulli, la expresión II.14 muestra lo descrito anteriormente.

$$A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad \text{Ec.2.21}$$

Una vez obtenida la ecuación se puede representar, a partir de distintos valores de flujo, para obtener la curva que se muestra en la Figura 2.4.

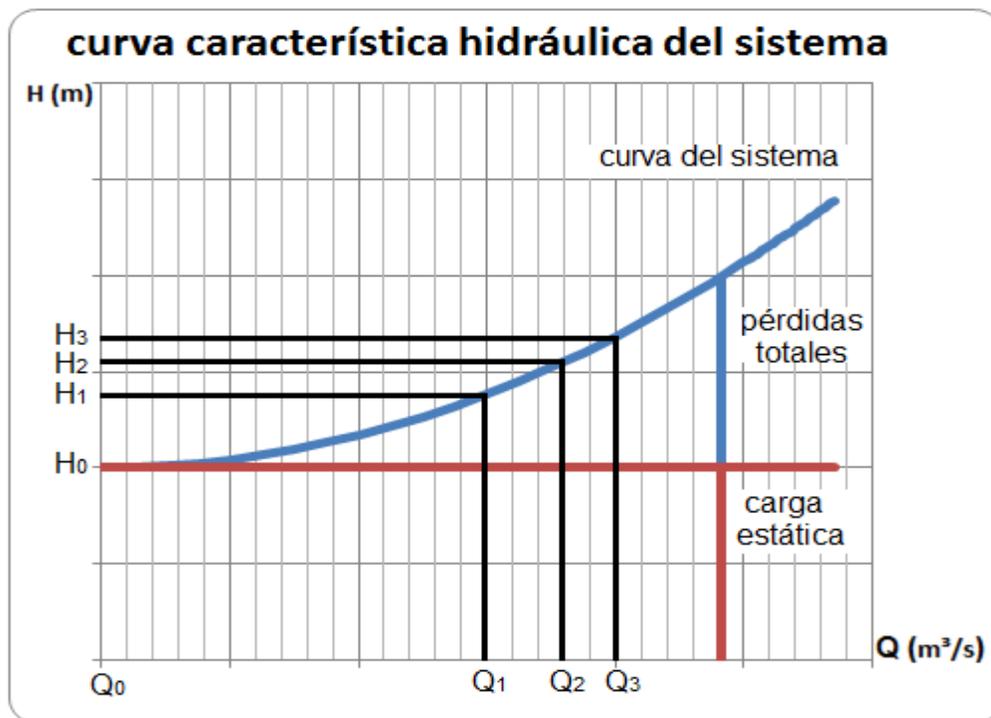


Figura 2.4 Curva del sistema de bombeo. Fuente Elaboración Propia

2.4.9 Cálculo de la velocidad específica.

La velocidad específica, Ecuación II.15, caracteriza en determinadas condiciones, la capacidad de la bomba de crear carga de impulsión y asegurar el suministro de líquido (Páez, 1995).

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H_b^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Ec.2.22}$$

Donde:

n: Revoluciones por minuto del impelente (rpm).

Q: Flujo volumétrico (m³/s).

H_b: Carga de impulsión (m).

Para poder calcular la velocidad específica es necesario primero obtener la carga de impulsión (H_b), Ecuación 2.23, que no es más que la energía que sale de la bomba menos la que entra y se obtiene aplicando Bernoulli entre los puntos de entrada y de salida de la bomba.

$$H_b = \frac{P_s - P_e}{\rho g} + Y + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} \quad \text{Ec.2.23}$$

Donde:

P_s: Presión a la salida de la bomba (Pa).

P_e: Presión a la entrada de la bomba (Pa).

V_s: Velocidad del fluido a la salida de la bomba (m/s).

V_e: Velocidad a la entrada de la bomba (m/s).

Y: Distancia que hay desde el eje de la bomba hasta la salida (m).

Aplicando Bernoulli entre el punto de succión y el punto de entrada a la bomba y entre la salida de la bomba y el punto de descarga se obtienen las Ecuaciones 2.24 y 2.25 respectivamente.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{V_e^2}{2g} + Z_e + \sum hf_{abs} \quad \text{Ec.2.24}$$

$$\frac{P_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum hf_{desc} \quad \text{Ec.2.25}$$

De las ecuaciones 2.17 y 2.18 despejamos las presiones de entrada y salida respectivamente y obtenemos las ecuaciones 2.18 y 2.20.

$$\frac{P_e}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - \left(\frac{V_e^2}{2g} + Z_e + \sum hf_{abs} \right) \quad \text{Ec.2.26}$$

$$\frac{P_s}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum hf_{desc} - \left(\frac{V_s^2}{2g} + Z_s \right) \quad \text{Ec.2.27}$$

Auxiliándose en la Figura 2.5 se puede estimar que el rendimiento de la bomba y la forma de los rodets (impelentes) de la misma referidos a la velocidad específica.

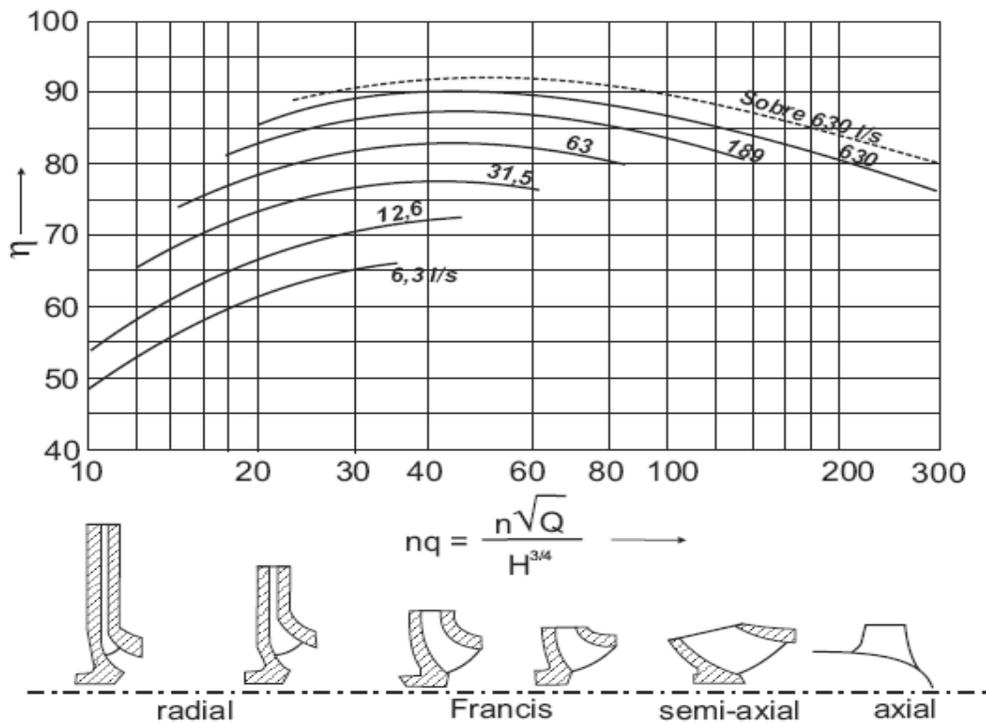


Figura 2.5 Formas aproximadas de los rodets, y rendimientos referidos a la velocidad específica. Fuente Vennard y Street, 1986

De forma general la potencia que demanda la bomba, o lo que es lo mismo, la potencia requerida para el bombeo se calcula como se muestra en la Ecuación 2.28.

$$N = \frac{\rho g H_b Q}{1000 \cdot \eta} \quad \text{Ec.2.28}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

H_b : Carga de impulsión (m).

Q : Flujo volumétrico (m^3/s).

η : Eficiencia de la bomba.

2.4.10 Comprobación de la selección del equipo basándose en la cavitación.

La cavitación es un fenómeno de gran importancia en la mecánica de los fluidos y con una incidencia directa en el funcionamiento de toda máquina hidráulica. Con el desarrollo de la tecnología, el diseño de turbinas y bombas ha tenido un gran avance en las últimas décadas. Esto sumado a la implementación de nuevos materiales para la construcción y la disminución de los costos, ha llevado a desarrollar equipos con mayores velocidades específicas, lo que determina un incremento en el riesgo de problemas en la succión, en especial cuando estos equipos operan fuera de sus parámetros de diseño.

El fenómeno de la cavitación no es más que la formación de burbujas de vapor dentro del líquido de trabajo, por lo general cerca de las superficies sólidas con las cuales interactúa el fluido (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008). La condición para que ocurra la cavitación es que la presión en el punto de formación de estas burbujas caiga hasta la presión del vapor del fluido de trabajo.

Cuando un líquido fluye a través de una región donde la presión es igual o menor que su presión de vapor, el líquido comienza un proceso de vaporización y forma pequeñas burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el fluido hasta llegar a una zona de mayor presión (impelente de la bomba), donde el vapor formado regresa a su estado líquido de forma brusca, implorando las burbujas. Si estas burbujas se encuentran en contacto con alguna superficie sólida en el momento de implotar, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad

dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida. (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008). La cavitación no constituye un fenómeno inevitable, sino un efecto que debe ser tomado en cuenta y evaluado en el diseño del sistema de bombeo. A continuación, se enumeran distintos fenómenos causados por la cavitación en las bombas (Roper Pump, 2009):

- Ruidos generados y vibraciones como si se tratara de un golpeteo entre las piezas metálicas de la bomba.
- Pérdidas y alteraciones de las propiedades hidrodinámicas.
- Pérdida de material en las superficies de contacto con el líquido.

Al verificar el resultado obtenido mediante un software de selección (PUMP-FLO versión 10) o catálogos, se selecciona una bomba que pueda cumplir con los requisitos de carga y flujo demandados por el sistema. El software también da el valor de la altura neta positiva requerida ($NPSH_{req}$). Luego mediante el siguiente análisis, tomando como referencia la Figura II.5, se calcula la altura neta positiva disponible ($NPSH_{disp}$).

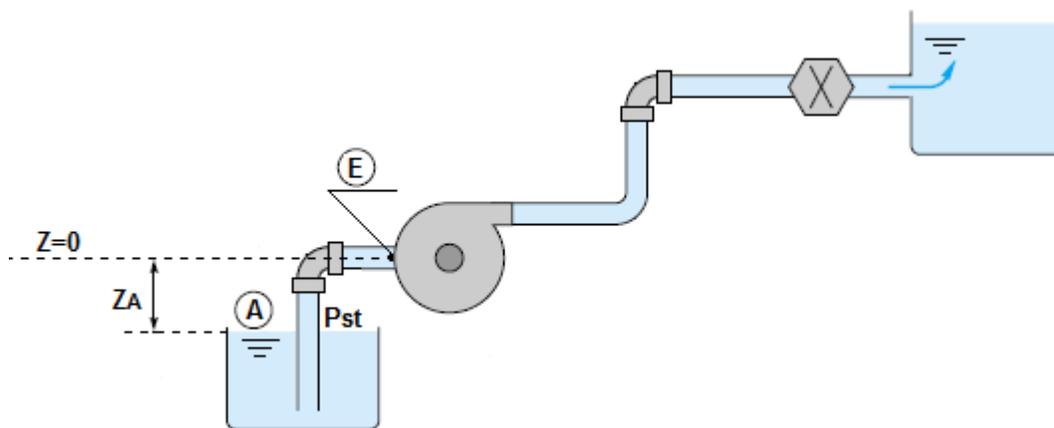


Figura 2.5 Diagrama de un sistema de bombeo. Fuente White, 1999

Aplicando la Ecuación de Bernoulli desde el punto de bombeo A, hasta la entrada de la bomba, punto E, se obtiene la Ecuación 2.30.

$$H_E = \frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{V_E^2}{2g} \quad \text{Ec.2.29}$$

Donde:

P_E : Presión a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Z_E : Altura geométrica desde el eje de referencia (m).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

Ya que el punto de entrada de la bomba se encuentra sobre el eje de referencia, el valor de Z_E es cero y se simplifica de la Ecuación 2.30, obteniendo así la Ecuación 2.30.

$$H_E = \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} \quad \text{Ec.2.30}$$

La altura neta positiva disponible ($NPSH_{\text{disp}}$) se calcula según la Ecuación II.24.

$$NPSH = H_E - \frac{P_{\text{st}}}{\rho g} = \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} - \frac{P_{\text{st}}}{\rho g} \quad \text{Ec.2.31}$$

Donde:

P_E : Presión del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

P_{st} : Presión de saturación del fluido a la entrada de la bomba a la temperatura de trabajo (Pa).

Aplicando Bernoulli entre los puntos A y E se obtiene la Ecuación 2.32, de la cual se despeja la presión a la entrada de la bomba (P_E) obteniendo la Ecuación 2.33.

$$\frac{P_A}{\rho g} - Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - \sum_A^E h_f = \frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{V_E^2}{2g} \quad \text{Ec.2.32}$$

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_A}{\rho g} - Z_A - \sum_A^E h_f - \frac{V_E^2}{2g} \quad \text{Ec.2.33}$$

Donde:

P_E : Presión del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

P_A : Presión del fluido en el punto de extracción (Pa).

Z_A : Altura geométrica desde el punto de extracción hasta el eje de referencia (m).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

$\Sigma_A^E h_f$: Pérdidas totales en la tubería desde el punto A hasta el punto E (m).

Sustituyendo la Ecuación II.26 en la Ecuación II.24 se obtiene la expresión para el cálculo de la altura neta positiva disponible.

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \frac{P_A}{\rho g} \pm Z_A - \Sigma_A^E h_f - \frac{P_{st}}{\rho g} \quad \text{Ec.2.34}$$

Donde:

P_A : Presión del fluido en el punto de extracción (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Z_A : Altura geométrica desde el punto de extracción hasta el eje de referencia (m).

$\Sigma_A^E h_f$: Pérdidas totales en la tubería desde el punto A hasta el punto E (m).

P_{st} : Presión de saturación del fluido a la entrada de la bomba a la temperatura de trabajo (Pa).

Para que no ocurra la cavitación debe cumplirse que: $\text{NPSH}_{\text{disp}} > \text{NPSH}_{\text{req}}$. Una vez seleccionada la bomba es posible obtener el punto de operación de la misma con el sistema como se muestra en la Figura 2.6.

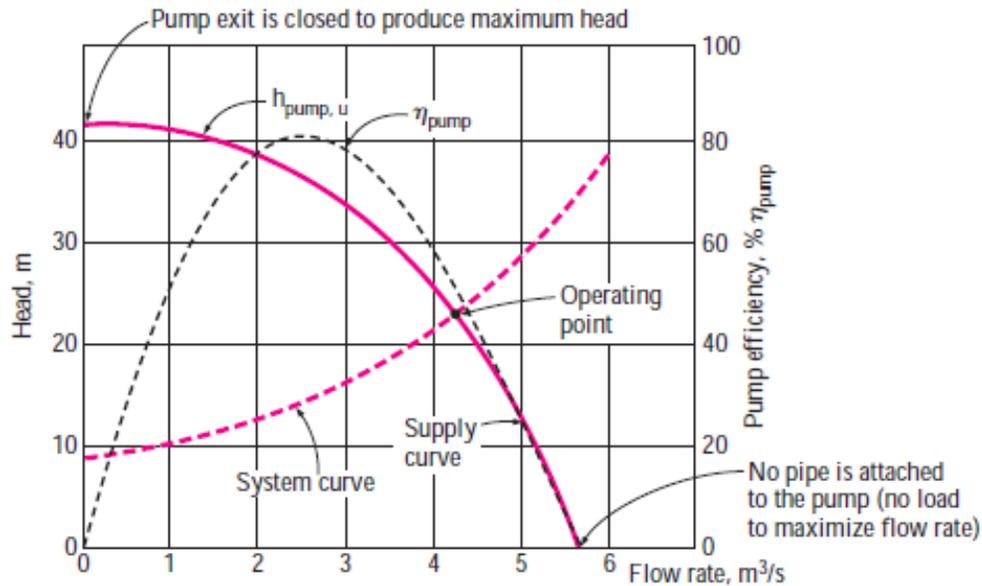


Figura 2.6 Punto de operación del equipo de bombeo-sistema de tuberías. Fuente Cengel y Cimbala, 2006

2.5 Métodos utilizados para el cálculo de la Rentabilidad del Proyecto de Inversión.

El criterio que predomina relacionado con un proyecto de inversión es la viabilidad financiera. El rendimiento financiero tanto del capital total invertido como del capital social desembolsado debe ser o suficientemente elevado. Además de la necesidad de rendimiento suficientes la justificación de un proyecto de inversión requiere de otros elementos que hagan viable la misma.

“La Inversión se ha definido como una obligación de recursos económicos a largo plazo con el objetivo de producir y obtener ganancias netas en el futuro.”

En la evaluación de una inversión por su efecto es necesario considerar todos los insumos requeridos y todos los productos obtenidos por el proyecto a lo largo de todo el horizonte de planificación considerado para el mismo.

Ahora bien, el factor tiempo surge como un elemento importante, que permite diferenciar el poder de valorización del dinero en cada momento, toda vez que el efecto inflacionario hace que 100 pesos en el presente año tengan mayor valor que en los siguientes, ya que se va reduciendo su poder

adquisitivo; las tasas de interés bancario no solo consideran ese efecto inflacionario, sino que valoran las utilidades que pudiera aportar esa magnitud de dinero si se invirtiera a la tasa de ganancia de ese momento. Es por ello que en los proyectos asociados a actividades consideradas lucrativas se utilizan tasas de descuento más altas que las tasas bancarias de préstamos a largo plazo, pues tienen que considerar el factor de incertidumbre o riesgo.

A continuación, se exponen algunos de los indicadores más utilizados en la evaluación de proyectos, ninguno de ellos debe ser absoluto, sino que se debe tratar de utilizar la mayoría de ellos de forma integral.

2.5.1 Valor Actualizado Neto (VAN).

El VAN se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos (IN) generados durante la vida útil del proyecto, es decir del saldo entre los ingresos y los gastos anuales que impliquen erogaciones de efectivo. Es el valor de la utilidad neta acumulada actualizada en el tiempo que se obtiene con el proyecto a una tasa de actualización determinada. Esa tasa puede ser el costo de capital (o tasa de interés), o el costo de oportunidad (tasa de utilidad que obtuviese sí se utilizara el capital en el negocio).

Para la utilización del VAN es necesaria una tasa de actualización (a). Esta tasa debe reflejar el costo de oportunidad del capital que expresa la garantía de un rendimiento mínimo. En otras palabras, una tasa similar a la que se obtendría en cualquier otra alternativa de inversión. Para el cálculo de esta tasa, generalmente se utiliza la tasa de interés existente sobre préstamos a largo plazo en el mercado de capitales.

$$VAN = \int_{j=1}^n INJ a_j$$

Ec.2.35

Donde:

VAN = Valor actualizado neto

INJ = Saldo entre los ingresos y gastos en los años 1,2, 3... j ..., n

a_j = Factor de actualización en los años 1,2, 3... j ..., n

A los efectos de la selección del proyecto el criterio será siempre:

$$VAN = \text{POSITIVO}$$

Es decir, proyectos que garanticen una tasa de rendimiento del capital igual o superior al costo de oportunidad del capital.

Si el VAN es positivo, la Rentabilidad de la Inversión está por encima de la tasa de actualización límite.

Si el VAN es igual a cero, la Rentabilidad será igual a la tasa límite de Rentabilidad.

Si el VAN es negativo la Rentabilidad está por debajo de la Tasa límite y el proyecto debe ser descartado.

Tasa Interna de Rendimiento.

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) se puede interpretar como la Rentabilidad exacta del proyecto, la tasa de interés máxima a la cual el proyecto puede obtener fondos.

La TIR es aquella en que el Valor Actual Neto de un proyecto es cero, es decir en que el valor actual del flujo de ingresos en efectivo es igual al valor actual del flujo de egresos en efectivo.

obtenida, no debiendo las diferencias entre las tasas exceder un +/- 2 % si se quiere lograr una buena aproximación.

$$TIR = i^l + \frac{VAN p(i^2 - i^1)}{VAN p + VAN n} \quad \text{Ec.2.36}$$

en que:

TIR = Tasa Interna de Rendimiento.

i^l = Tasa de actualización en que el VAN es positivo.

VAN_p = VAN positivo a la tasa de actualización i_1 .

i^2 = Tasa de actualización en que el VAN es negativo.

VAN_n = VAN negativo a la tasa de actualización i_2 (se suma con signo positivo).

Se tiene que cumplir que:

TIR = (Tasa de actualización) y $> i$ (Tasa de interés a pagar).

La TIR es una aproximación a la fortaleza interna de la propuesta; mide cuanto puede aguantar de tasa de interés.

Tasa de Rendimiento Actualizada del Proyecto (RVAN).

Siempre que sea necesario escoger entre varias variantes, el criterio de selección será la relación entre el Valor Actual Neto VAN y el Costo Actualizado de la Inversión (CAI) relación ésta que nos dará la Tasa de Rendimiento Actualizada del proyecto (RVAN). Nos indica las utilidades actualizadas que se obtienen por cada peso de inversión. Para un mismo período y tasa de actualización, se tiene que cumplir que $RVAN \geq 0$.

$$TRA \text{ o } RVAN = \frac{VAN}{CAI} \quad \text{Ec.2.37}$$

$$CAI = \sum_{j=1}^n la_j \quad \text{Ec.2.38}$$

Donde: I= Costo de Inversión, j= años de construcción y

a j= factor de actualización.

Se seleccionarán los proyectos que tengan un TRA (RVAN) mayor, es decir una relación mayor entre los Ingresos Netos Actualizados y las Inversiones Actualizadas necesarias para obtenerlos.

Período de Recuperación del Capital.

Este criterio mide el número de años que se necesitan para recuperar el Capital Invertido en el proyecto. Nos indica:

- Cuándo se recupera el Capital invertido
- Se utiliza en situaciones de alto riesgo

- No analiza lo que sucederá después de recuperada la inversión original.

Este criterio se utiliza principalmente en situaciones de alto riesgo, donde es conveniente recuperar la inversión lo antes posible.

CAPITULO III



CAPITULO 3: ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Introducción al capítulo.

Este capítulo mostrara los resultados obtenidos al utilizar la metodología plasmada en el Capítulo 2, tanto como el uso de la técnica multicriterio (método Delphi), selección de la planta según los requerimientos, selección de los accesorios de abastecimiento de la planta (selección de bomba) basados en la metodología, para luego realizar un cálculo económico de inversión (VAN y TIR). Donde por último analizaremos los resultados y consideraciones económicas, sociales y ambientales.

3.2 Selección del método de desalinización a usar, determinado por el método Delphi.

Basado en la metodología plasmada en el epígrafe 2.3, usando las ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.1, 3.2 y 3.3.

Tabla 3.1 Resultados obtenidos en la aplicación del método de selección multicriterio

Alternativa	Experto									Cálculo de indicadores				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\sum A_i$	ζ	Δ	Δ^2	ω
											$M(K+1)/2$	$\sum A_{ij} - \zeta$		$(12\sum\Delta^2)/M^2(K^3-K)$
1 Osmosis inversa	1	1	1	1	2	1	1	1	2	11	↓	-16	256	↓
2 Electrodiálisis	5	4	4	5	5	4	5	4	5	41		14	196	
3 Evaporación súbita flash	4	5	5	4	1	5	4	5	4	37		10	100	
4 Destilación multiefecto c- tubos horizontales	2	2	2	2	3	3	2	2	1	19		-8	64	
5 Termocompresión de vapor y compresión mecánica	3	3	3	3	4	2	3	3	3	27		0	0	
										135	27	616	0,8	

Nota: Los criterios dados por los expertos plasmados en esta tabla en la columna expertos, son puntuaciones del 1 al 5, siendo 1 mayor importancia y 5 menor importancia.

Tabla 3.2 Orden de importancia

Orden de importancia		
1	Osmosis inversa	11
2	Destilación multiefecto c- tubos horizontales	19
3	Termocompresión de vapor y compresión mecánica	27
4	Evaporación súbita flash	37
5	Electrodialisis	41

Tabla 3.3 Prueba de Hipótesis

Prueba de hipótesis		
número de alternativas	K	5
número de expertos	M	9
chi cuadrado calculado, χ^2 calculado	$M (K-1)\omega$	27,4
chi cuadrado tabulado, χ^2 tabulado	$\chi^2 (0,01,19)$	21.7
Si χ^2 calculado > χ^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos		

Mostrados los resultados anteriores se llega a la conclusión de que Osmosis Inversa es la tecnología más fiable de acuerdo al criterio de los expertos, mostrados en la tabla 3.2, esta selección es alta fiable por la comprobación de la hipótesis detallado en la tabla 3.3, donde se comprueba la concordancia de criterio entre expertos.

3.3 Selección de la Planta de Osmosis Inversa.

Después de haber aplicado el método de selección multicriterio en el epígrafe anterior, en el cual se ha llegado a la conclusión de que la técnica de desalinización por osmosis inversa es la más viable, según el criterio de los

expertos en la aplicación del método Delphi. Se hará la selección de una planta adecuada para el sistema de abastecimiento de la fábrica.

3.3.1 Puntos a tener en cuenta para la selección para la selección.

- La E.M.I. Astillero centro perteneciente a la F.A.R. Fuerzas Armadas Revolucionaria solo puede comercializar objetos y productos de importaciones con China, especialmente en este sitio web www.made-in-china.com
- Para la selección buscaremos plantas que sustenten el abastecimiento de agua requerido diariamente, es decir plantas que diariamente proporcionen más de 30 m³ en una jornada de trabajo de 12 horas al día (más 10 m³ son suministrados por la Empresa Provincial Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos, para un total de 40 m³).

3.3.2 Planta propuesta

RO-5000 Sistema de ósmosis inversa filtros de agua de la máquina de la planta de tratamiento de agua

3.3.2.1 Información Básica

Tipo

Ósmosis Inversa

Uso

Protección Ambiental, Industria Química

Fuerza motriz

Eléctrico

Estilo

Tubo

Rendimiento

Sofisticados filtros

Certificación

CE, GS

3.3.2.2 Información Adicional

Marca

Proman

Embalaje

Wooden Case

Estándar

3.2m*1.8m*2.4m

Origen

China

Código del HS

8422301090

Capacidad de Producción

500machines/Year

3.3.2.1 Descripción de Producto

RO-5000 Sistema de ósmosis inversa filtros de agua de la máquina de la planta de tratamiento de agua

Descripción:

Filtro de arena de sílice

Puede suprimir el gluten de sólidos suspendidos y partículas en el agua, reducir así la turbidez del agua.

Filtro de carbón activo

Puede quitar el pigmento, el olor y un gran número de los organismos biológicos en el agua

Intercambiador de iones de sodio

Puede eliminar los iones de calcio y magnesio en el agua, así como para ablandar el agua.

Filtro de precisión

Puede asegurarse de que la granularidad del agua en la membrana de ósmosis inversa es inferior a 0,1µm.

Ósmosis inversa.

El dispositivo de ósmosis inversa es un equipo para purificar el agua salina con la acción de la diferencia de presión de la membrana semipermeable. Se llama la ósmosis inversa, como lo es en contra de la penetración natural dirección. Diferencia los materiales tienen diferentes presiones osmótico. La osmosis inversa puede quitar más del 97% de la sal soluble y por encima del 99% de los coloides, microorganismo, partículas y materiales orgánicos, convirtiéndose en el mejor equipo de la elección de primera elección en la ingeniería moderna de agua purificada, altamente purificada y el espacio de agua (super-agua purificada). Lo más destacado son las características de bajo consumo de energía, sin contaminación, la técnica más simple, el agua de alta calidad y cómoda operación y mantenimiento.

Esterilizar UV

Utiliza la UV para matar algunas bacterias, que también puede pasar a través del sistema de ósmosis inversa.

Esterilizador de ozono.

Algunas bacterias pueden no ser eliminadas por los rayos UV, el esterilizador utiliza el ozono para matar las bacterias.



Figura 3.1 Imagen de la planta seleccionada

Tabla 3.4 La información detallada, Fuente: Entidad Proveedorora

Modelo	RO-5000
La tasa de flujo	5000L/H

El poder	Alrededor de 11 KW
La tensión	380V/3ph/50Hz (si, especial podría Cambiar)
La tasa de Desalación	$\geq 97\%$
La Tasa de recuperación	El 65%-80%
Material	El FRP, SS, PVC
Configuraciones	CNP Y la bomba de Membrana DOW EE. UU.
Certificado	CE & ISO
La garantía	Un Año
El pago	TTO el Oeste Europea (30% Depositar por adelantado, el 70% Blance Pagar Antes del Parto).

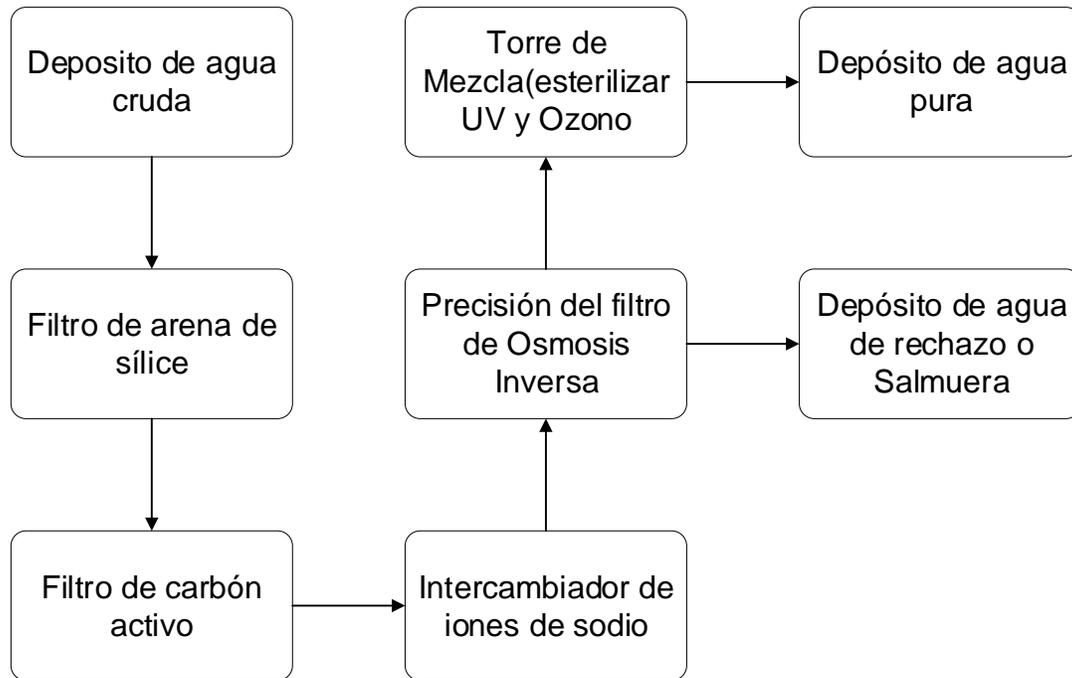


Figura 3.2 Diagrama de flujo, Fuente: Entidad Provedora

3.3.2.4 Especificación detallada:

- 1), adopta la membrana RO importadas desde América, que puede eliminar el 99,7% de sal inorgánica, de iones de metales pesados y completamente deshacerse de los materiales orgánicos coloidales, microbiología, el germen, protozoos, los agentes patógenos, bacterias, productos químicos inorgánicos y así sucesivamente.
- 2) No es necesario añadir ningún producto químico, la estabilidad de la calidad del agua pura, y sin contaminación descargada, la producción de bajo costo.
- 3) equipado con sistema de pretratamiento, como la absorción de carbono activado el filtro y filtro de sedimentos de PP.
- 4) de acero inoxidable 304 rack y accesorios para tubo de conexión.
- 5) equipado con sistema de protección y de presión automático on -line monitor.
- 6) de forma automática y manual lavar RO membrana. También en el diseño de

lavado de la membrana RO es la solución química (ácido cítrico o hidróxido de sodio opcional).

7) La vida de todo el sistema es larga, operación simple, la aplicabilidad es fuerte

3.3.3 Comprobación de abastecimiento para condiciones de mínima (tasa de rechazo al 65%)

Por la Ecuación 1.3 Recuperación:

$$R = \frac{Q_P}{Q_F}$$

Donde:

$$Q_F = 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$R = 0,65$$

Despejando Q_P al calcular obtenemos:

$$Q_P = 3,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Al multiplicar el flujo de permeado obtenido por 12 horas de trabajo, se obtiene un flujo de:

$$39 \text{ m}^3/\text{jornada laboral diaria.}$$

Este flujo cumple con la demanda, ya que actualmente la empresa consta con un flujo diario de abastecimiento de agua de la red municipal de 10 m³/día. Es decir, solo se necesita generar 30 m³/día.

3.4 Selección de la bomba de acuerdo a la metodología.

Para lograr una correcta selección de un equipo de bombeo que se adapte a las condiciones de trabajo y sea capaz de entregar altos valores de eficiencia es

necesario aplicar una metodología de cálculo que tenga en cuenta los aspectos principales y las condiciones de operación.

3.4.1 Cálculo del diámetro de la tubería y la velocidad del fluido.

En los estudios de selección se debe conocer el diámetro y la velocidad del fluido en el sistema, para esto se divide en tramo de succión y descarga, ya que las velocidades recomendadas para estos tramos no son iguales.

Es importante señalar que en la selección de la bomba se tendrán en cuenta los aspectos de la metodología de cálculo, siendo estos los factores principales en la correcta selección. Además de la metodología antes mencionada se realizará la selección de acuerdo a los equipos de bombeo que se encuentran disponibles en el mercado.

3.4.2 Selección de la velocidad y el diámetro:

Asumiendo una velocidad en la succión, atendiendo a los criterios de diseño que se muestran en la Tabla 2.5.

Utilizando la expresión de continuidad, mostrada en la Ecuación 2.8, es posible determinar el área de la sección transversal de la tubería mediante la Ecuación 2.9

$$Q = A * V$$

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

Donde:

A: Área transversal de la tubería (m²).

Q: Flujo o caudal en la tubería (m³/s).

V: Velocidad del fluido (m/s).

A partir del área puede ser determinada mediante la Ecuación 2.10 el diámetro de la tubería obteniendo la Ecuación 2.11.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Este no es el diámetro real de la tubería, debe de normalizarse en tablas donde aparecen según el material de la misma. Las tuberías plásticas serán seleccionadas del catálogo de tuberías de polietileno MASA de acuerdo a la norma UNE-EN-12201 (Figura 1 Anexo I).

Los polietilenos de alta densidad confieren a los tubos una mayor resistencia a la tracción, mayor impermeabilidad y dureza combinadas con la adaptabilidad al terreno.

Con el diámetro real se calcula el área real de la tubería utilizando la Ecuación 2.10. Una vez obtenida el área real de la tubería se recalcula la velocidad del fluido para ello se despeja de la Ecuación 2.8 y se obtiene la Ecuación 2.12

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

La Tabla 3.5 muestra los valores de los diámetros de las tuberías y las velocidades reales del fluido.

Tabla 3.5 Diámetros de las tuberías y velocidades reales del fluido. Fuente Elaboración Propia.

Tramo de succión	
Velocidad del fluido	0,91 m/s
Área de la sección transversal de la tubería	0,0015 m ²
Diámetro de la tubería	0,044 m
Tramo de descarga	
Velocidad del fluido	2,24 m/s
Área de la sección transversal de la tubería	0,0006 m ²
Diámetro de la tubería	0,028 m

3.4.3 Cálculo del número de Reynolds.

El régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad, la viscosidad y velocidad del fluido. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds (División de Ingeniería de CRANE.). El número de Reynolds se calcula a partir de la Ecuación 6:

$$Re = \frac{Vd}{\vartheta} = \frac{\rho Vd}{\mu}$$

Donde:

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido (Pa*s=kg/m*s).

ϑ : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³).

V: Velocidad del fluido (m/s).

d: Diámetro de la tubería (m).

Tabla 3.6 Propiedades del fluido, Fuente Elaboración propia

Propiedades	Valor
Densidad	1021 kg/m ³
Viscosidad dinámica	9,46 x 10 ⁻⁷

Cálculo para la succión:

$$Re = \frac{Vd}{\vartheta} = \frac{0,91 * 0,044}{9,46 * 10^{-7}} = 42\ 325,58$$

Cálculo para la descarga:

$$Re = \frac{Vd}{\vartheta} = \frac{2,24 * 0,028}{9,46 * 10^{-7}} = 26\ 934,46$$

En ambos casos el número de Reynolds es mayor de 4000 por lo que el flujo es turbulento. De manera general, el coeficiente f se busca mediante el Diagrama de Moody, el factor de fricción (f) depende del valor del número de Reynolds y de la relación entre la rugosidad (ϵ) y el diámetro de la tubería (d).

La siguiente tabla muestra valores de la rugosidad en función de distintos materiales utilizados frecuentemente en las industrias.

Tabla 3.7 Valores de rugosidad para tuberías comerciales. Fuente Cengel y Cimbala. 2006.

Material	Rugosidad, ϵ	
	Ft	mm
Vidrio, Plástico	0	0
Concreto	0,003-0,03	0,9-9
Tuberías de cobre	0,000005	0,0015
Listones de madera	0,0016	0,5
Hierro fundido	0,00085	0,26
Hierro galvanizado	0,0005	0,15
Hierro forjado	0,00015	0,046
Acero inoxidable	0,000007	0,002
Acero comercial	0,00015	0,045
Tuberías de cobre	0,000005	0,0015
Goma blanda	0,0016	0,5
Tuberías de latón	0,000005	0,0015

Como se aprecia en la tabla anterior y en el Diagrama de Moody, en el caso de las tuberías de plástico el valor de la rugosidad (ϵ) alcanza valores mínimos y en algunos casos cero, en este caso tomaremos el valor mínimo del factor de fricción (f) que aparece en el diagrama de Moody: $f=0,008$.

3.4.4 Ecuación de Bernoulli

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad (División de Ingeniería de CRANE).

Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{\text{sist.}} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum_1^2 hf \text{ total}$$

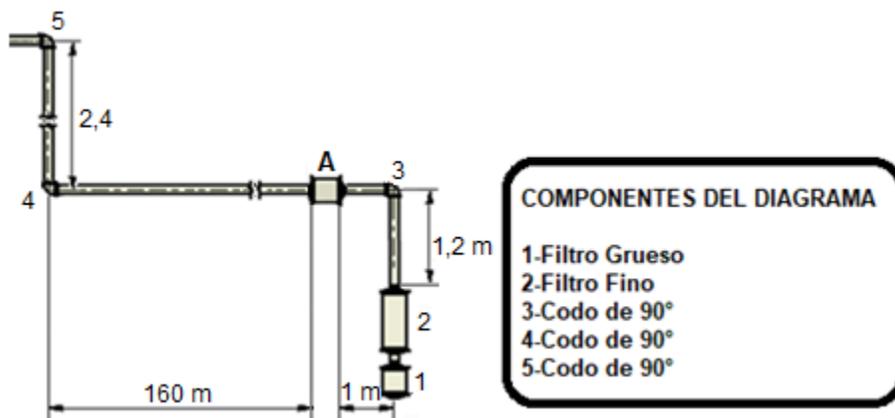


Figura 3.3 Trazado del sistema.

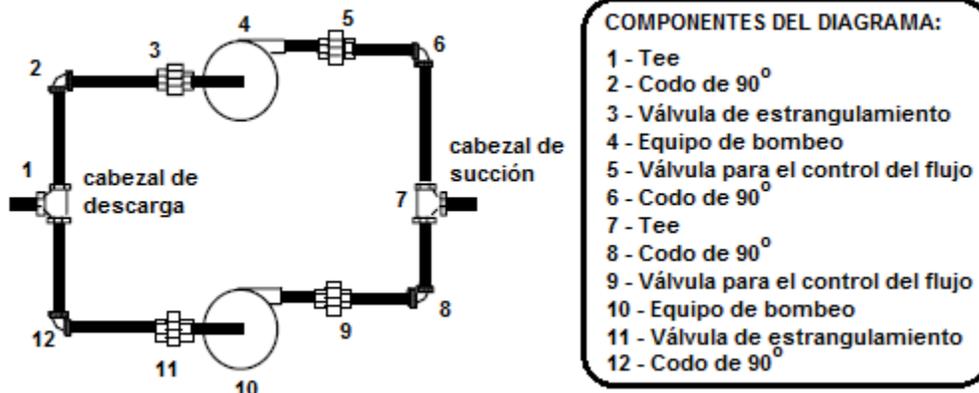


Figura 3.4 Bombas en paralelo

Como muestra la figura anterior una de las bombas actúa como equipo de repuesto, esto no influye en la metodología de cálculo, aunque sí se tendrán en cuenta los accesorios de la Figura.

Tomando como el punto 1 el punto de succión del sistema y el punto 2 la entrada a la planta de osmosis y el punto de referencia el eje de la bomba se tienen los siguientes datos:

Tabla 3.8 Aplicación de la Ecuación de Bernoulli fuente Elaboración Propia

Propiedades	Descripción	Valor
P_1	Presión del fluido en el punto 1	101 000 Pa
P_2	Presión del fluido en el punto 2	101 000 Pa
P	Densidad del fluido	1021 kg/m ³
G	Aceleración de la gravedad	9,81 m/s ²
V_1	Velocidad del fluido en el punto 1	0,91 m/s
V_2	Velocidad del fluido en el punto 2	2,24 m/s
Z_1	Altura geométrica de la línea de referencia hasta el punto 1	1,2 m
Z_2	Altura geométrica de la línea de referencia hasta el punto 2	2,40

$\Sigma_1^2 hf$ total	Suma de todas las pérdidas hidráulicas	---
$H_{sist.}$	Carga total de impulsión	---

Tabla 3.9 Particularidades del sistema

Tramo de succión			
Elementos	Cantidad	Materiales	Clasificación
Tuberías	3,2 m	Tubos de polietileno	PE100 059050010
Codo de 90°	3 unidad		
Te	1 unidad		
Válvula de globo	1 unidad		
Tramo de descarga			
Elementos	Cantidad	Materiales	Clasificación
Tuberías	163,4 m	Tuberías comerciales de plástico	PE100 059032010
Codo de 90°	3 unidad		
Te	1 unidad		
Válvula de globo	1 unidad		

3.4.5 Pérdidas del sistema.

Las pérdidas hidráulicas disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente la altura útil. Estas se dividen en pérdidas de tramo recto y pérdidas en los accesorios. En el proceso de diseño se busca

que los valores de pérdidas sean mínimos sin comprometer el correcto funcionamiento del sistema.

3.4.5.1 Pérdidas de tramo recto o pérdidas de carga por fricción.

Durante el flujo de líquidos por medio de tuberías siempre está presente el rozamiento de las partículas del fluido entre sí, lo que ocasiona una pérdida de presión en el sentido del flujo (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008). Es importante señalar que los valores de pérdidas se expresan en función del flujo del sistema al cuadrado, esto permite el trazado de la curva del sistema.

Las pérdidas de tramo recto se calculan de acuerdo a la Ecuación 2.14

$$\sum hf \text{ t. recto} = \frac{fLV^2}{2dg} = \frac{fLQ^2}{2dgA^2}$$

Donde:

f: Factor de fricción de la tubería o conducto.

L: Longitud total de los tramos rectos de tubería (m).

V: Velocidad del fluido en la tubería (m/s).

d: Diámetro de la tubería (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

3.4.5.2 Pérdidas de accesorios o pérdidas locales.

A las pérdidas provocadas por los cambios de dirección del fluido, obstrucciones y cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno de las tuberías se les denominan pérdidas locales o pérdidas causadas por los accesorios. Cuando el flujo pasa por una válvula o accesorio provoca una reducción en la altura o presión estática (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008).

Las pérdidas de accesorios se calculan de acuerdo a la Ecuación 2.15

$$\sum hf \text{ accesorios} = \sum K \frac{V^2}{2g} = \sum K \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Donde:

K: Coeficiente de resistencia hidráulica local.

V: Velocidad del fluido (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

El coeficiente de resistencia hidráulica local (K) está asociado con el diámetro de la tubería y a la velocidad del fluido. El coeficiente K varía dependiendo del tipo de accesorio, en muchos casos su valor se encuentra en tablas o nomogramas

En el proceso de diseño es importante tener en cuenta que los valores más altos del coeficiente K aparecen en los mecanismos de estrangulamiento o regulación de flujo.

Sustituyendo los valores ya conocidos en las Ecuaciones 2.14 y 2.15 se obtienen los valores de pérdidas en función del flujo al cuadrado, la Tabla 3.10 muestra estos resultados:

Tabla 3.10 Cálculo de pérdidas. Fuente Elaboración Propia.

Tramo de succión		
Pérdidas	Parámetros	Valor
Tamo recto	f (Factor de fricción)	0,008
	L (Longitud de tamo recto)	3,2 m
	d (Diámetro de la tubería)	0,044 m
	Área de la sección transversal de la tubería	0,0015 m ²
Accesorios	ΣK (Sumatoria de los coeficientes de resistencia)	14
Tramo de descarga		
Pérdidas	Parámetros	Valor
Tamo recto	f (Factor de fricción)	0,008

	L (Longitud de tramo recto)	163,4 m
	d (Diámetro de la tubería)	0,028 m
	Área de la sección transversal de la tubería	0,0006 m ²
Accesorios	ΣK (Sumatoria de los coeficientes de resistencia)	14

3.4.6 Trazado de la característica hidráulica del sistema de tuberías.

Siguiendo los pasos descritos en los epígrafes anteriores se puede llegar al trazado de la curva del sistema de bombeo. La expresión de la curva característica tiene la forma que se muestra:

$$H_{\text{sist.}} = A + BQ^2$$

El término B representa las pérdidas totales del sistema, es decir las pérdidas por fricción más las pérdidas locales, expresadas en función del flujo al cuadrado. El término A representa la carga estática y se calcula mediante la diferencia de los parámetros del fluido en los puntos donde se aplica la Ecuación de Bernoulli:

$$A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1$$

La siguiente Tabla muestra los valores de pérdidas del sistema:

Tabla 3.11 Pérdidas en función del flujo al cuadrado. Fuente Elaboración Propia

Tramo de succión	
Pérdidas por tramo recto en función del flujo	13 179,7 Q ²
Pérdidas por accesorios en función del flujo	317 136,7 Q ²
Tramo de descarga	
Pérdidas por tramo recto en función del flujo	6 609 711,5 Q ²

Pérdidas por accesorios en función del flujo	1 982 104,43 Q ²
--	-----------------------------

Sustituyendo valores en la Ecuación 2.17 se obtiene:

$$A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1$$

$$= \frac{101000 - 101000}{1021 * 9.81g} + \frac{(2,24)^2 - (0,9)^2}{2 * 9.81} + 2,4 - 1.2$$

$$A = 1,41 \text{ m}$$

Sustituyendo el valor del coeficiente A y las pérdidas totales en la Ecuación 9 se obtiene la ecuación del sistema:

$$H_{\text{sist.}} = 1,41 + 8\,922\,132,3Q^2$$

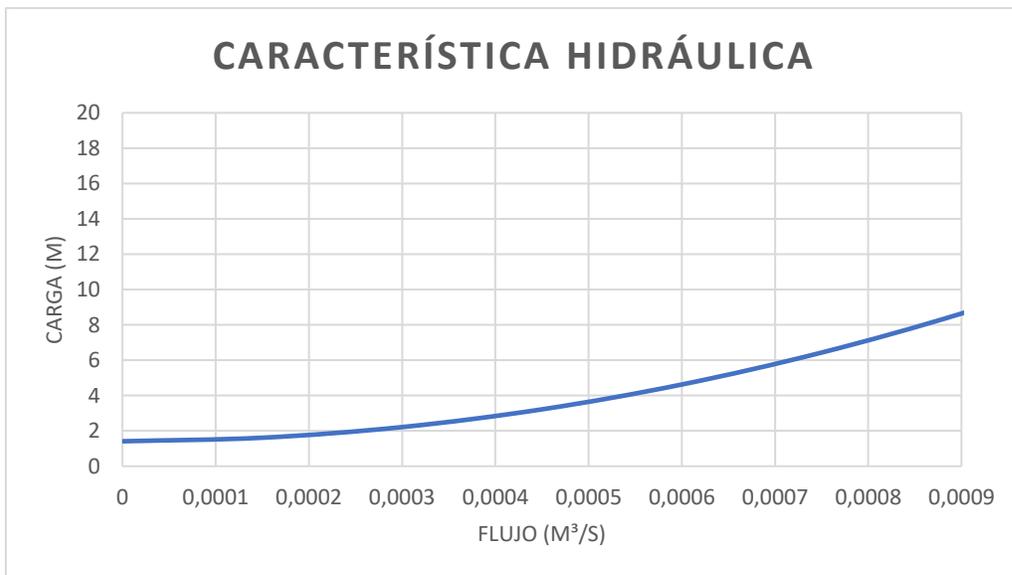


Figura 3.5 Curva del sistema de bombeo. Fuente Elaboración Propia.

Cálculo de la velocidad específica.

La velocidad específica, Ecuación 2.18, caracteriza en determinadas condiciones, la capacidad de la bomba de crear carga de impulsión y asegurar el suministro de líquido (Páez, 1995).

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H_b^{\frac{3}{4}}}$$

Donde:

n: Revoluciones por minuto del impelente (rpm).

Q: Flujo volumétrico (m³/s).

H_b: Carga de impulsión (m).

Para poder calcular la velocidad específica es necesario primero obtener la carga de impulsión (H_b), Ecuación 2.19, que no es más que la energía que sale de la bomba menos la que entra y se obtiene aplicando Bernoulli entre los puntos de entrada y de salida de la bomba.

$$H_b = \frac{P_s - P_e}{\rho g} + Y + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g}$$

Donde:

P_s: Presión a la salida de la bomba (Pa).

P_e: Presión a la entrada de la bomba (Pa).

V_s: Velocidad del fluido a la salida de la bomba (m/s).

V_e: Velocidad a la entrada de la bomba (m/s).

Y: Distancia que hay desde el eje de la bomba hasta la salida (m).

Aplicando Bernoulli entre el punto de succión y el punto de entrada a la bomba y entre la salida de la bomba y el punto de descarga se obtienen las Ecuaciones 2.20 y 2.21 respectivamente.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - Z_1 = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{V_e^2}{2g} + Z_e + \sum hf_{abs}$$

$$\frac{P_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum hf_{desc}$$

De las ecuaciones 2.20 y 2.21 despejamos las presiones de entrada y salida respectivamente y obtenemos las ecuaciones 2.22 y 2.23.

$$\frac{P_e}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - Z_1 - \frac{V_e^2}{2g} - Z_e - \sum hf_{abs}$$

$$\frac{P_s}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum hf_{desc} - \frac{V_s^2}{2g} - Z_s$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.12 Resultados del cálculo de la velocidad específica. Fuente Elaboración Propia.

Presión a la entrada de la bomba	83 005,171 Pa	
Presión a la salida de la bomba	289 247,92 Pa	
Carga de impulsión	20,80 m	
Velocidad específica	3600 rpm	13,72 rpm
	1800 rpm	6,86 rpm
	1200 rpm	4,57 rpm

Auxiliándose en la Figura se puede estimar que el rendimiento de la bomba y la forma de los rodetes (impelentes) de la misma referidos a la velocidad específica.

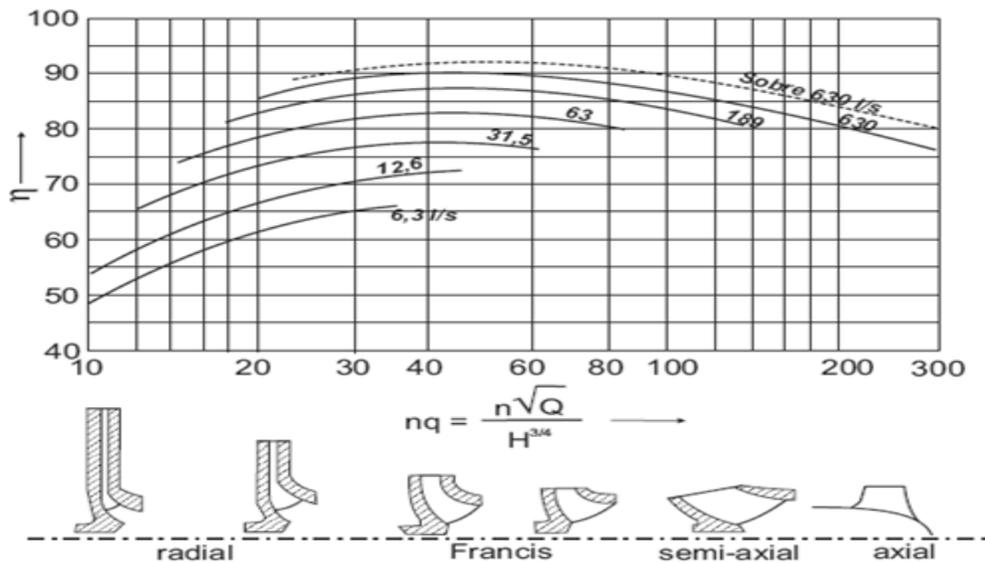


Figura 3.6 Formas aproximadas de los rodetes, y rendimientos referidos a la velocidad específica. Fuente Vennard y Street, 1986.

3.4.7 Comprobación de la selección del equipo basándose en la cavitación.

La cavitación es un fenómeno de gran importancia en la mecánica de los fluidos y con una incidencia directa en el funcionamiento de toda máquina hidráulica. Con el desarrollo de la tecnología, el diseño de turbinas y bombas ha tenido un gran avance en las últimas décadas. Esto sumado a la implementación de nuevos materiales para la construcción y la disminución de los costos, ha llevado a desarrollar equipos con mayores velocidades específicas, lo que determina un incremento en el riesgo de problemas en la succión, en especial cuando estos equipos operan fuera de sus parámetros de diseño.

El fenómeno de la cavitación no es más que la formación de burbujas de vapor dentro del líquido de trabajo, por lo general cerca de las superficies sólidas con las cual interactúa el fluido (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008). La condición para que ocurra la cavitación es que la presión en el punto de formación de estas burbujas caiga hasta la presión del vapor del fluido de trabajo.

Cuando un líquido fluye a través de una región donde la presión es igual o menor que su presión de vapor, el líquido comienza un proceso de vaporización y forma pequeñas burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el fluido hasta llegar a una zona de mayor presión (impelente de la bomba), donde el vapor formado regresa a su estado líquido de forma brusca, implorando las burbujas. Si estas burbujas se encuentran en contacto con alguna superficie sólida en el momento de implotar, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida. (Martínez Díaz, Monteagudo Yáñez y Jáuregui Rigó, 2008). La cavitación no constituye un fenómeno inevitable, sino un efecto que debe ser tomado en cuenta y evaluado en el diseño del sistema de bombeo. A continuación, se enumeran distintos fenómenos causados por la cavitación en las bombas (Roper Pump, 2009):

- Ruidos generados y vibraciones como si se tratara de un golpeteo entre las piezas metálicas de la bomba.
- Pérdidas y alteraciones de las propiedades hidrodinámicas.
- Pérdida de material en las superficies de contacto con el líquido.

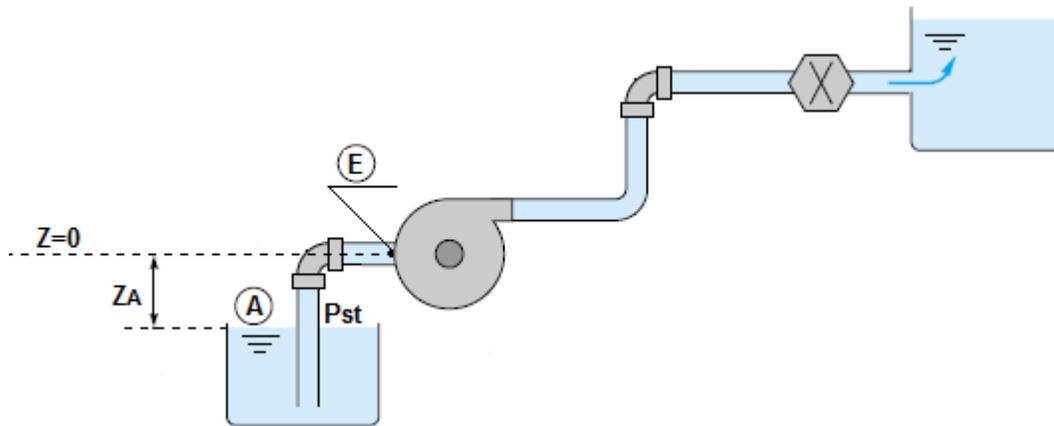


Figura 3.7 Diagrama de un sistema de bombeo. Fuente White, 1999.

Aplicando la Ecuación de Bernoulli desde el punto de bombeo A, hasta la entrada de la bomba, punto E, se obtiene la Ecuación 2.24.

$$H_E = \frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{V_E^2}{2g}$$

Donde:

P_E : Presión a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Z_E : Altura geométrica desde el eje de referencia (m).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

Ya que el punto de entrada de la bomba se encuentra sobre el eje de referencia, el valor de Z_E es cero y se simplifica de la Ecuación 2.25, obteniendo así la Ecuación 18.

$$H_E = \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g}$$

La altura neta positiva disponible ($NPSH_{disp}$) se calcula según la Ecuación 2.26.

$$NPSH_{disp} = H_E - \frac{P_{st}}{\rho g} = \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} - \frac{P_{st}}{\rho g}$$

Donde:

P_E : Presión del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

P_{st} : Presión de saturación del fluido a la entrada de la bomba a la temperatura de trabajo (Pa).

Aplicando Bernoulli entre los puntos A y E se obtiene la Ecuación 2.27, de la cual se despeja la presión a la entrada de la bomba (P_E) obteniendo la Ecuación 2.28.

$$\frac{P_A}{\rho g} - Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - \sum_A^E h_f = \frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{V_E^2}{2g}$$

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_A}{\rho g} - Z_A - \sum_A^E h_f - \frac{V_E^2}{2g}$$

Donde:

P_E : Presión del fluido a la entrada de la bomba (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

P_A : Presión del fluido en el punto de extracción (Pa).

Z_A : Altura geométrica desde el punto de extracción hasta el eje de referencia (m).

V_E : Velocidad del fluido a la entrada de la bomba (m/s).

$\sum_A^E h_f$: Pérdidas totales en la tubería desde el punto A hasta el punto E (m).

Sustituyendo la Ecuación 2.28 en la Ecuación 2.27 se obtiene la expresión para el cálculo de la altura neta positiva disponible.

$$NPSH_{\text{disponible}} = \frac{P_A}{\rho g} \pm Z_A - \sum_A^E h_f - \frac{P_{st}}{\rho g}$$

Donde:

P_A : Presión del fluido en el punto de extracción (Pa).

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Z_A : Altura geométrica desde el punto de extracción hasta el eje de referencia (m).

$\sum_A^E h_f$: Pérdidas totales en la tubería desde el punto A hasta el punto E (m).

P_{st} : Presión de saturación del fluido a la entrada de la bomba a la temperatura de trabajo (Pa).

$$NPSH_{\text{disponible}} = 8,28 \text{ m}$$

La $NPSH_{\text{req}}$ depende del modelo de bomba y se busca en catálogos o software de selección. En este caso la bomba que se desea seleccionar es la electrobomba centrífuga monobloc horizontal serie normalizada a 2900 r.p.m., modelo MO32-160 B del catálogo Bombas HASA, la siguiente tabla muestra las características técnicas del equipo.

Tabla 3.13 Características Técnicas del equipo.

Modelo	MO32-160 B
Potencia	2,2 kW
Amperaje	8,6 A
Diámetro de succión	50 mm
Diámetro de impulsión	32 mm
$NPSH_{\text{req}}$	4,32 m

Para que no ocurra la cavitación debe cumplirse que: $NPSH_{disp} > NPSH_{req}$. Con la Ecuación 22 se obtiene $NPSH_{disponible} = 8,28$ m, por lo que la condición se cumple, y no existe riesgo de que ocurra la cavitación en el equipo.

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req}$$

$$8,22 \text{ m} > 4,32 \text{ m}$$

3.5 Calculo económico de la Inversión. Calculo del VAR y TIR.

Para el cálculo económico utilizaremos la metodología del epígrafe 2.5 y las ecuaciones que se encuentren en ella.

3.5.1 Datos a usar

3.5.1.1 Inversión inicial

Tabla 3.14 Inversión inicial

Productos	cantidad	precio	total
Planta de Osmosis Inversa	1	25 000,00 CUC+ 20% importación	30 000,00CUC
Electrobomba MO32-160B	3	1 010,00 CUC +20% de importación	3 636.00CUC
Tuberías	190m	10m x 1,29 CUC 180m x 0,51 CUC	1254.09CUC
Mano de Obra para la instalación	N/A	2 000,00 CUC	2 000,00CUC
Total			36 890,09CUC

Se calculará con el valor aproximado de 40 000CUC

3.5.1.2 Ingresos

Tabla 3.15 Ingresos Fuente Elaboración Propia

Ingresos por la venta de Productos	Cantidad
Mensuales	49 400,00 CUC
Anuales = Mensuales x 11	543 400,00 CUC

3.5.1.3 Gastos Anuales

El funcionamiento económico de esta empresa permite obtener el 60% de los ingresos en gastos. Ya que el pago a los trabajadores es por resultado, dentro de estos gastos, están materia prima, mano de obra, salarios, etc.

Gastos totales (60% de ingresos)

3.5.1.4 Intereses

Este proyecto va a ser financiado por un préstamo bancario, con una tasa de interés del 10% de devolución. En un periodo de 3 años.

Pago de intereses al 15% de la inversión	8 000,00 CUC
--	--------------

Nota: Estos datos fueron proporcionados por el director del departamento de Proyectos e Inversiones: Ingeniero Naval Nelson Cuellar Bello.

3.5.2 Creación de tabla de cálculo del V.A.N. y T.I.R.

Usando las Ecuaciones 2.35 y 2.36, se halla el valor del V.A.N. y T.I.R. respectivamente.

Parámetros a tener en cuenta, el primer año se calculará los ingresos al 67%, el segundo año al 80%, y a partir del tercer año al 100%, ya que será el año donde se alcanzará el conocimiento tecnológico y familiarización con la nueva planta de Osmosis Inversa.

Inversión	40.000					
		AÑOS				
	inversión	1	2	3	4	5
Flujo de caja (neto anual)	-40.000	145.524	173.760	217.200	217.200	217.200
Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.						
	%					
Tasa de descuento	15,00%	◀ Pon la tasa de descuento aquí				
V.A.N a cinco años	592.914,25	Valor positivo, inversión (en principio) factible				
T.I.R a cinco años	382,88%	Valor superior a la tasa, inversión (en principio) factible				

3.6 Consideraciones económicas, ambientales, sociales.

3.6.1 Consideraciones económicas.

Esta nueva tecnología traerá consigo la reducción de las pérdidas monetarias por la interrupción del abastecimiento de agua, es una inversión altamente fiable, con un periodo de recuperación corto, aumentara el valor de los activos fijos de la empresa, aumentara los ingresos a su nivel estimado desde el principio de la creación de la fábrica. Eliminará la dependencia del abasto de agua de otras empresas para estos procesos productivos. Disminuirá la importación de los productos de aseo y limpieza.

3.6.2 Consideraciones ambientales.

Esta nueva tecnología traerá consigo la generación de un recurso natural muy importante para el hombre, el agua potable. Disminuirá el gasto de este recurso natural por esta entidad, de esta manera ayudará a preservarlo.

3.6.3 Consideraciones sociales.

La implantación de esta nueva tecnología en esta empresa traerá consigo, el aumento de salario a los trabajadores, mejoras tecnológicas, reducirá el alto consumo de agua potable tomada de la red provincial de abastecimiento a la población y el consumo de sal mineral por esta empresa, lo cual traerá efectos positivos a la población y mercado de esta zona. También evitara la falta de producción de productos de aseo y limpieza por la fábrica, así asegurara abastecimiento continuo de estos productos al mercado industrial.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.Existen suficientes fundamentos científicos que sustentan la investigación planteada en este trabajo.
- 2.La tecnología propuesta satisface las demandas de la producción y las condiciones de la fábrica, garantizando así la reducción de las pérdidas.
- 3.La selección de los equipos responde a la actualidad tecnológica y a los avances de la ciencia y la técnica.
- 4.La tecnología propuesta está asociada a significativas implicaciones económicas sociales y ambientales de la instalación.

[Inserte aquí las conclusiones]

BORRAR ESTA PARTE AL FINALIZAR

Recogen de manera concreta las deducciones que se desprenden de la labor desplegada y que se presenta en el cuerpo del informe por lo que todas deben desprenderse de alguna parte del mismo, lo cual, es evidente, que rige también para las conclusiones parciales. Una conclusión final puede resumir varias conclusiones parciales

BORRAR ESTA PARTE AL FINALIZAR

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Discutir con el Consejo de Dirección de la fábrica la propuesta tecnológica planteada
2. Utilizar la propuesta planteada como tarea técnica para la solicitud de oferta y la documentación primaria necesaria para la aprobación de la inversión
3. Socializar en las revistas de la especialidad el análisis realizado para llegar a la propuesta tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcázar, R. A. (2015). *Sistema de control de bombeo agua freática Pit Dewatering cv1 de Smcv*.

Alsop, P. A. (2005). *The Cement Plant Operations HandBook*.

Borges, R. J., Monteagudo, J. P. & Carrasco, S. Y. (2017). *Teoría y problemas de flujo de fluidos compresibles y equipos de bombeo*.

<https://universosur.ucf.edu.cu/index.php/en/catalogo-de>

publicaciones/item/98-teoria-y-problemas-de-flujo-de-problemas-compresibles-y-equipos-de-bombeo

Cengel Y. A., Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics. Fundamentals and Applications*. Editorial: Higher Education.

CRANE. División de Ingeniería de. (s.f). *Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*.

Cruz Ramírez, M. (2009). *El método Delphi en las investigaciones educativas*. Editorial: Academia.

Fernández. P. (s.f). *Bombas Centrífugas y Volumétricas*.

Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P. & Heald C. C. 2001). *Pump Handbook*.

Martínez, V. L., Monteagudo, J. P. & Rigó S. J. (2008). *Mecánica de los Fluidos y Máquinas de Flujo*.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo.

Páez, N. R. (1995). *Bombas, Ventiladores y Compresores*. ISPJAE.

Roper Pump. (2009). *Progressing cavity pump. Catálogo industrial*. Editorial: Roper Pump, Company.

Roper Pump. (2010). *Typical applications for roper progressing cavity pumps. Catálogo industrial*. Editorial: Roper Pump, Company.

Vennard, J. K., Street, R. L. (1986). *Elementos de Mecánica de Fluidos. Primera Parte.*

Vennard, J. K., Street, R. L. (1986). *Elementos de Mecánica de Fluidos. Segunda Parte.* White, F. M. (1999). *Fluid Mechanics.*

Zubicaray, M. V. (2000). *Bombas. Teoría, Diseño y Aplicaciones.*

ANEXO I

Figura Catálogo de tuberías de polietileno MASA de acuerdo a la norma UNE-EN-12201

TUBOS DE POLIETILENO FLEXIPOL

FLEXIPOL - TUBOS DE POLIETILENO PE100



Conducción de Agua a Presión
Fabricados según Norma UNE-EN 12201

COLOR Y APLICACIONES
 Negro Banda Azul: Agua Potable
 Negro-Negro Banda Marrón: Agua no Potable (Aguas Industriales-Saneamiento)
 Negro Banda Morada: Agua no Potable (Agua Reciclada)

MARCAJE:
MASA FLEXIPOL

FORMATO DE SUMINISTROS*:
 Hasta Ø 90 en rollos de 100 metros
 Ø 110 en rollos de 50 metros y 100 metros
 Desde Ø 20 hasta Ø 110 barras de 6 metros
 Desde Ø 90 hasta Ø280 en barras de 12 metros
 Desde Ø 315 hasta Ø 1000 en barras de 13 metros
** Otros formatos, presiones y aplicaciones consultar*
** Precios considerados para un mínimo de 1.200 m. Para otras cantidades consultar.*




■ PN10 / SDR 17 Rollos

Referencia	Ø Ext.	Espesor	€/ml
059032010	32	2,0	0,51
059040010	40	2,4	0,83
059050010	50	3,0	1,29
059063010	63	3,8	1,97
059075010	75	4,5	2,72
059090010	90	5,4	3,82
059110010	110	6,6	5,66

■ PN16 / SDR 11 Rollos

Referencia	Ø Ext.	Espesor	€/ml
060020016	20	2,0	0,36
060025016	25	2,3	0,48
060032016	32	3,0	0,72
060040016	40	3,7	1,19
060050016	50	4,6	1,85
060063016	63	5,8	2,80
060075016	75	6,8	3,83
060090016	90	8,2	5,44
060110016	110	10,0	7,99

ANEXO II

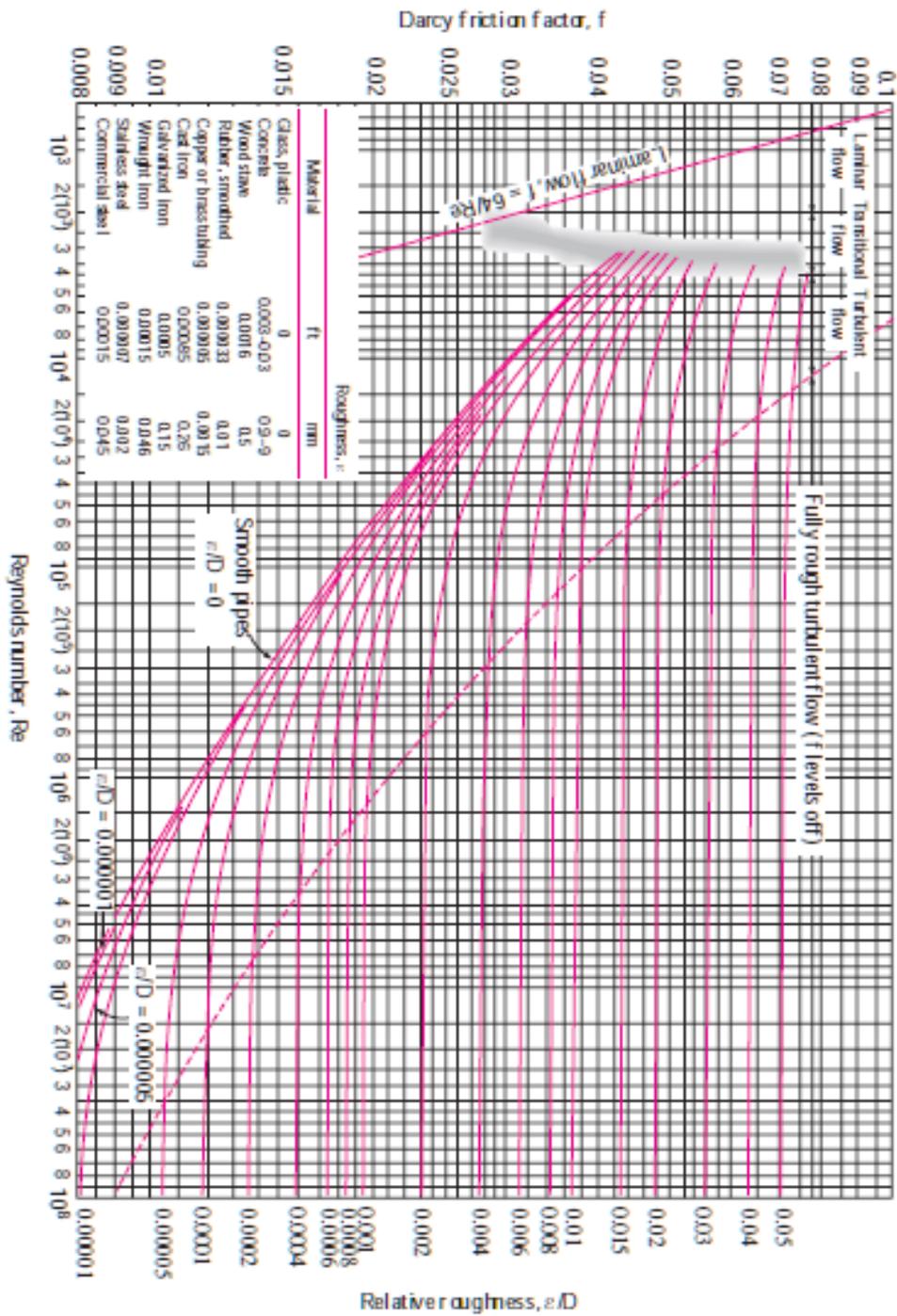


Figura 1 Diagrama de Moody. Fuente Yunus A. Cengel & John M. Cimbala, 2006.

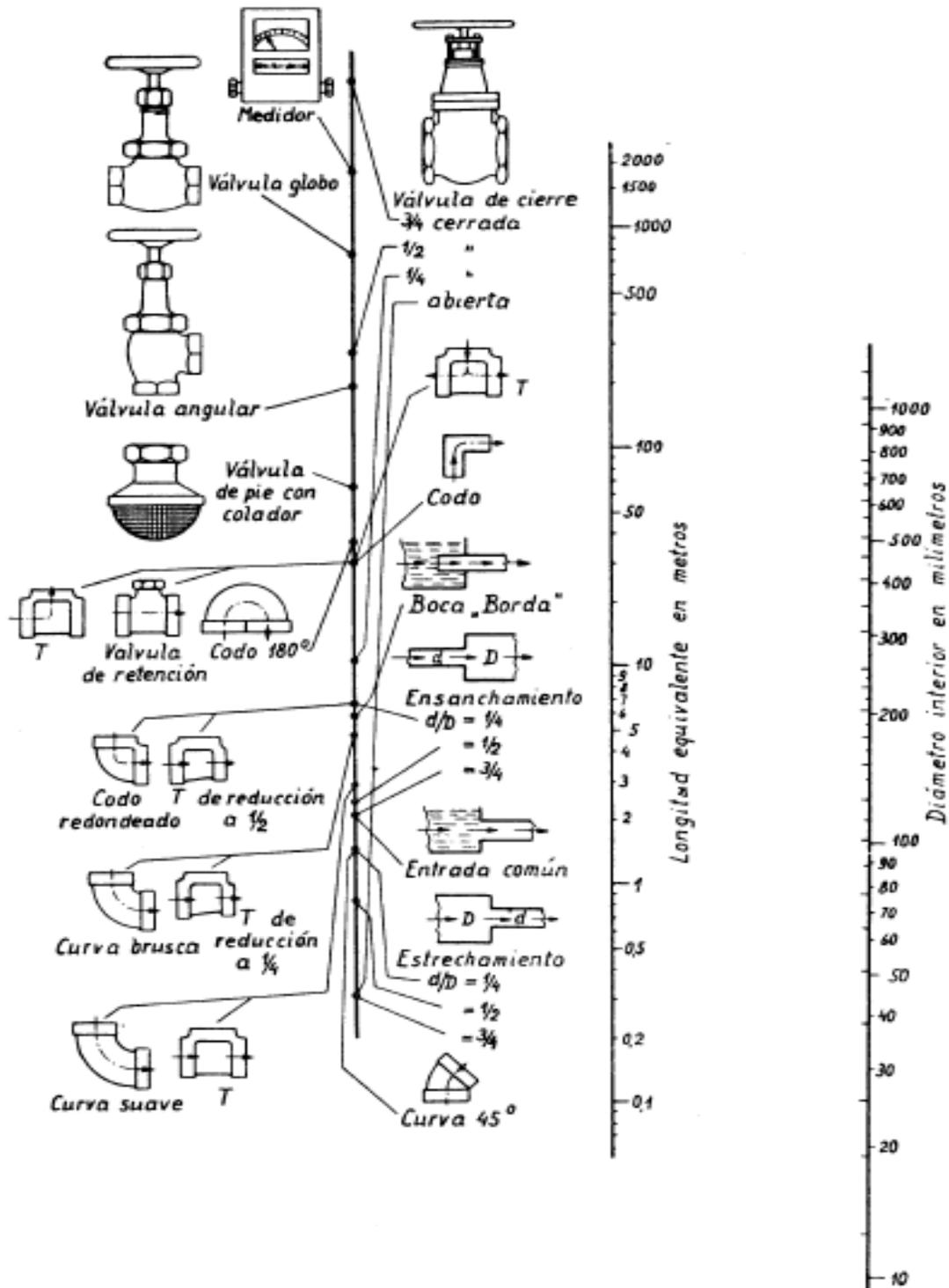


Figura 2 Nomograma de pérdidas secundarias utilizando el método de las longitudes equivalentes. Fuente Claudio Mataix, 1986.