

# **CAPITULO 7**

## **Metodología y Cálculos Previos**



## Capítulo 7. Metodología y cálculos previos

### 7.1 Introducción

Una vez que nos introducimos de lleno en nuestra T.D., pasamos a exponer en este capítulo la metodología empleada para realizar la misma. Evidentemente, toda T.D. pasa por 2 partes fundamentales y que están íntimamente relacionadas y que son contrastadas entre sí. La parte que llamamos, experiencia de campo, que en nuestro caso está basada en la recogida de datos cuando se visita la planta desalinizadora. Veremos que existen algunas en las que nos han dejado recoger y publicar los datos y otras en las cuales solamente nos ha dejado visitarlas y no publicarlos. La segunda parte es la que llamamos de investigación y que pasa por explicar cuál es la metodología empleada en nuestra investigación a partir de un determinado esquema general de la planta, analizando los resultados obtenidos de la misma con sus gráficas correspondientes, en este caso, e investigando la adaptación de nuestros resultados a un modelo matemático.

En base a lo comentado presentamos la siguiente tabla con la metodología empleada.

METODOLOGIA
1) Experiencia de Campo (Recogida de datos)
2) Esquema General de la Planta
3) Análisis de Costes (Justificación y cálculos previos)
4) Modelo Matemático
5) Verificación y Simulación con Datos Reales

Tabla 20. Esquema general del planteamiento metodológico

En lo que se refiere al segundo punto del bloque metodológico, realizaremos un esquema general de la planta en base al cual se ha realizado la justificación de los costes y se han definido las condiciones específicas del diseño básico y las condiciones de contorno de la planta desalinizadora.

Para el análisis de costes se ha presentado el cálculo justificativo de cada uno de ellos con las expresiones matemáticas y las características propias de cada coste.

En lo que al modelo matemático se refiere, en base a la tabla que nos indica el proceso metodológico empleado, se ha investigado con los modelos univariante y mínimos cuadrados ponderados. Se ha realizado para los mismos las alternativas de clasificar en un solo coste el que llamamos resto costes, correspondientes a aquellos cuyos valores son menos significativos. Asimismo, también se ha investigado el modelo matemático de los mínimos cuadrados ponderados asignando la variable ponderadora a la reposición de filtros de cartuchos y al consumo energético. En definitiva se ha investigado con 6 tipos diferentes de modelos matemáticos.

Para finalizar esta introducción la última parte del bloque metodológico se refiere a la verificación y simulación con los datos reales aportados.

## 7.2 Experiencia de campo

Como hemos comentado anteriormente, la experiencia de campo está basada en la recogida de datos como consecuencia de las visitas que hemos realizado a las plantas desalinizadoras. Para poder obtener los datos correspondientes nos hemos basado en una tabla con 8 variables que se han considerado necesarias para la identificación de la planta desalinizadora. A continuación colocaremos la tabla que nos ha servido de formulario base.

DATOS DE LA PLANTA DESALINIZADORA DE O.I.
Nombre de la planta
Año de construcción
Capacidad de producción (m <sup>3</sup> /día)
Nº de trenes o de líneas de producción
Nº de tubos por tren
Nº de membranas por tubo
Nº total de membranas
Configuración 1/2 etapas

Tabla 21. Formulario base para la recogida de datos

Los ítem que se han colocado en el formulario base son aquellos factores que se han considerado más importante para poder realizar un estudio de investigación en base a los costes de las plantas.

Evidentemente, la capacidad de producción y el año de construcción son factores fundamentales. El primero debido a que necesitamos que la mayoría de las plantas se encuentren dentro del rango investigado y el segundo como consecuencia de que afecta a la investigación de determinados costes, como son la amortización, el mantenimiento y el consumo energético.

El resto de ítem que se encuentran en el formulario afecta directamente a las características de la línea de producción y su diseño, lo que nos lleva a alterar los costes de reactivos, reposición de membranas, personal, mantenimiento y consumo energético.

Existe un dato importante para finalizar este apartado y es que un elevado porcentaje de las plantas desalinizadoras de O.I. estudiadas son privadas, lo que nos lleva a que un estudio en profundidad del coste del m<sup>3</sup> del agua desalinizada puede ser interesante, importante y prioritario, sobre todo en el ámbito de las Islas Canarias y en concreto en la Isla de Gran Canaria, donde existe el producto agua en todo su alrededor.

Asimismo, queremos resaltar, que siempre existe una diferencia entre los estudios que se realizan y la realidad final en los costes de las plantas.

En los últimos años, gracias a la investigación y la experimentación, el archipiélago se ha colocado en primera línea mundial en el campo de la reutilización, fundamentándose en ello gran parte de su futuro económico. [23]

Aunque el desarrollo tecnológico posibilita la construcción de plantas cada vez de mayor tamaño, cerca de la mitad de las desalinizadoras que se encuentran en funcionamiento tienen una capacidad inferior o igual a 1.000 m<sup>3</sup> diarios, mientras que el 7% tan sólo puede desalinizar más de 20.000 m<sup>3</sup> de agua diario. [21]

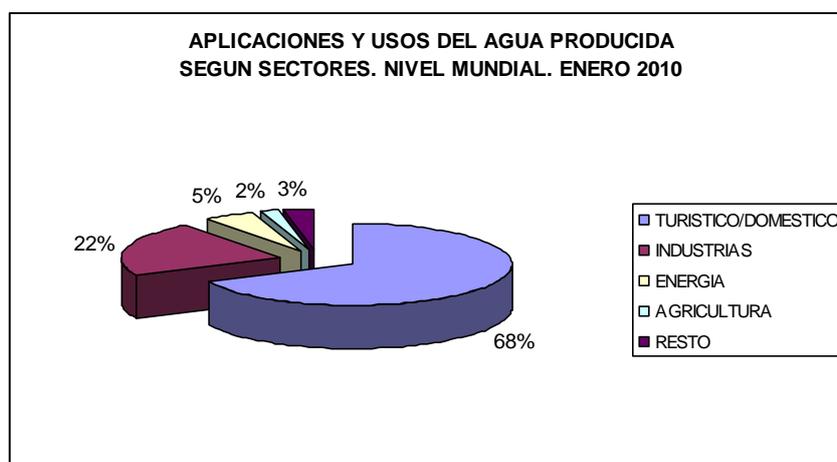
Dentro de las tecnologías actuales de desalinización, la Ósmosis Inversa se ha erigido como la tecnología más consolidada por ser la más barata y eficiente como consecuencia de su menor consumo de energía y espacio.

Este tipo de plantas desalinizadoras modulares constituye una solución ideal para abastecimiento de agua potable a hoteles, campos de golf, complejos residenciales, etc.

El diseño modular permite la adaptación de la planta a cualquier tipo de cliente. Desde plantas pequeñas de 200 m<sup>3</sup>/día hasta plantas con una producción de 3.000 m<sup>3</sup>/día, todo ello con la ventaja de obtener la máxima calidad con unos costes reducidos. Las ventajas claves de dicha estandarización del proceso se pueden resumir en la tecnología de bajo coste, máximos niveles de calidad, control automatizado del proceso y mejora de la eficiencia energética.

Además de lo comentado anteriormente, en cuanto a la capacidad de las plantas, es importante hacer notar que en un porcentaje muy elevado, las aplicaciones y el uso de esa agua desalinizada tiene su destino hacia las zonas turísticas y domésticas, desplazando al resto de los usos con notoriedad.

Adjuntamos la gráfica 16 donde se especifican los usos y las aplicaciones de dichas aguas y los porcentajes de uso de cada uno, confirmando lo que se ha explicado en el párrafo anterior.



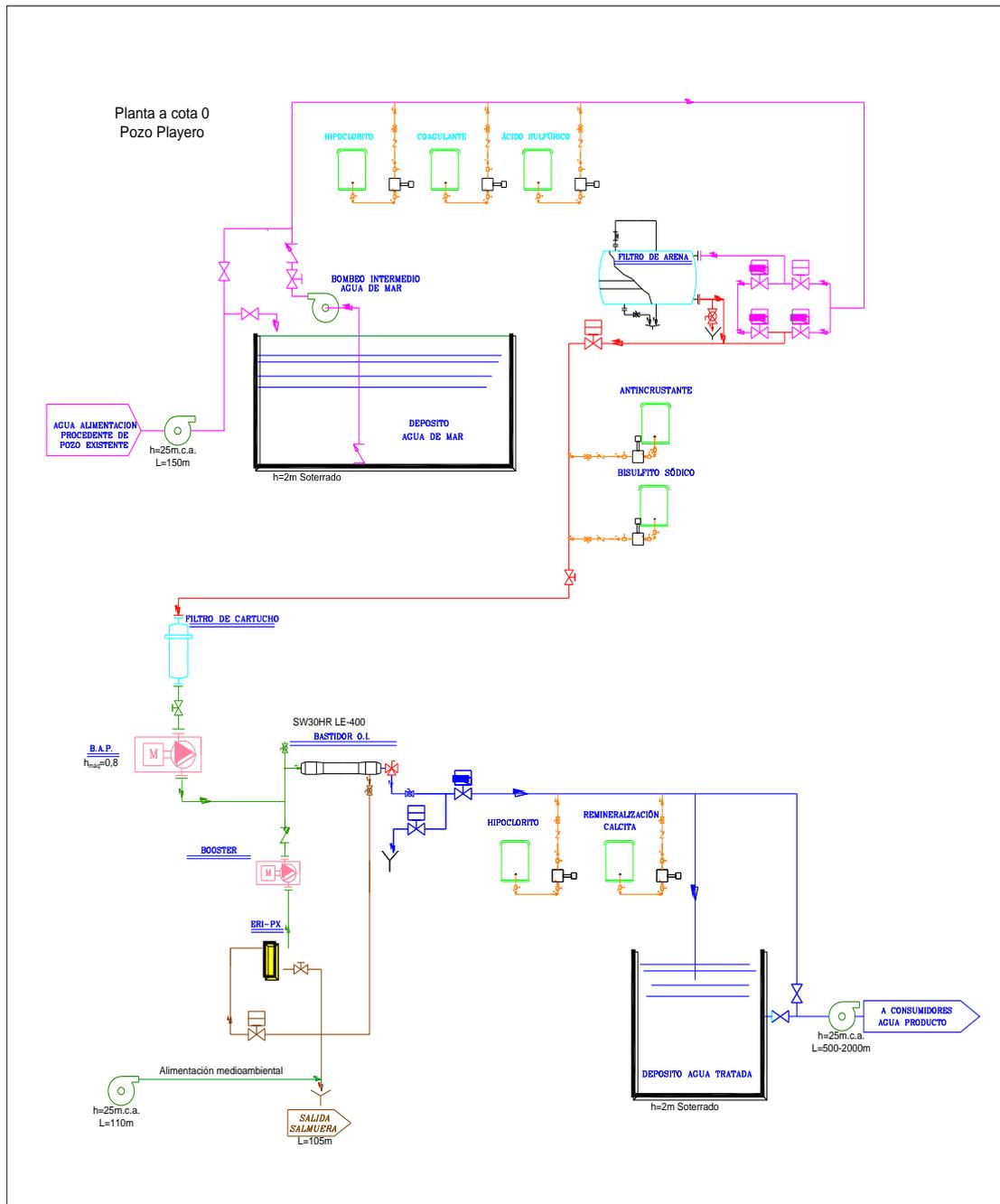
Gráfica 16. Aplicaciones y usos del agua según sectores. [6]

Como resumen de la experiencia de campo podemos concluir en que se han visitado un total de 36 plantas desalinizadoras de O.I. en las que nos han facilitado los datos, de las cuales, 25 pertenecen a la Isla de Gran Canaria, 7 pertenecen a Fuerteventura y 4 pertenecen a Lanzarote. De las 25 que pertenecen a Gran Canaria, en 15 se nos ha facilitado prácticamente la totalidad de los datos, 8 se han quedado fuera por no poder publicar los datos o por encontrarse obsoletas, quedando fuera de nuestro rango de estudio solamente 2, por producir 33.000 y 80.000 m<sup>3</sup>/día. Por último, en 3 se han aportado los datos básicos.

Para finalizar, es importante comentar en este apartado que se ha visitado casi el 78% de plantas desalinizadoras de agua de mar mediante ósmosis inversa de la Isla de Gran Canaria. Con este último dato podemos confirmar que nuestra experiencia de campo indica que se ha investigado con una muestra significativa.

### 7.3 Esquema General de la Planta

Presentamos a continuación el esquema general de la planta desalinizadora de O.I. en base a la cual se ha desarrollado el trabajo de investigación, para posteriormente comentar las especificaciones y condiciones de contorno de la misma.



Gráfica 17. Esquema general de la planta.

Las especificaciones del diseño básico y las condiciones de contorno de la planta desalinizadora en base a las cuales se han realizado la totalidad de los cálculos y costes son las siguientes:

- a) La toma de agua de mar es en base a un pozo playero y a una profundidad de 25 m.
- b) La planta desalinizadora estará siempre cerca del mar y a cota 0.
- c) La totalidad de los materiales serán siempre de primera calidad.
- d) El depósito anexo de agua de alimentación será semienterrado. (h=2 m)
- e) La totalidad de la maquinaria tendrá un rendimiento y una eficacia del 80%.
- f) La membrana elegida es fabricada por la empresa DOW, FILMTEC, SW30HR LE-400.
- g) El sistema de recuperación de energía es el ERI-PX.
- h) Las redes eléctricas exteriores de BT y MT serán subterráneas.
- i) Los centros de transformación serán prefabricados.
- j) La instalación eléctrica interior será sobrepuesta.
- k) El depósito anexo de agua tratada será semienterrado. (h=2 m)
- l) Las cantidades de reactivos químicos se han realizado en base a valores medios.
- m) La vida útil de la planta se considera de 15 años.
- n) El personal requerido debe tener una experiencia mínima de 5 años.
- ñ) La contratación de la energía será siempre en alta tensión.
- o) Los cuadros de precios son valores medios referenciados a las Islas Canarias.

## 7.4 Análisis de Costes

Llegado este apartado vamos a estudiar cada uno de los costes comentados en el apartado 2.5 de nuestra T.D..

La metodología empleada está basada en dos apartados bien diferenciados y que explicamos a continuación. Primeramente definiremos el modelo o método de cálculo justificativo empleado en cada uno de los costes, con sus expresiones matemáticas, explicando y analizando cada uno de ellos. Posteriormente en un segundo apartado, obtenemos y estudiamos los resultados con sus gráficas correspondientes. Este segundo apartado lo hemos englobado en el análisis de resultados por entender que el estudio y el análisis de lo obtenido se adecuan mejor en ese apartado.

Dentro de nuestra metodología planteada, realizamos lo anteriormente comentado para una serie de combinaciones investigadas. La tabla siguiente, nos refleja el planteamiento metodológico empleado así como las combinaciones investigadas, donde, el caudal Q viene expresado en m<sup>3</sup>/día y el factor de conversión viene expresado en %.

<b>ANALISIS DE COSTES</b>			
Inversión/Amortización			
Consumo de Reactivos			
Reposición de Filtros de C.			
Reposición de Membranas			
Personal			
Mantenimiento			
Medioambiental			
Consumo Energético			
<b>Combinaciones Investigadas Q(m<sup>3</sup>/día)-F.C.(%/%)</b>			
500-42/45	2.000-42/45	7.500-42/45	12.000-42/45
1.000-42/45	5.000-42/45	10.000-42/45	15.000-42/45

Tabla 22. Esquema para el análisis de costes

## 7.4.1 Costes de Inversión

### 7.4.1.1 Coste de Inversión o capital inicial

Para iniciar el estudio del coste de inversión hemos dividido el coste del proceso de desalinización de agua de mar mediante O.I. en 10 apartados, que corresponden a 6 etapas del proceso de desalinización, un apartado de componentes varios, un apartado de instalación eléctrica que incluye tanto la instalación en baja tensión como la instalación en alta tensión, un apartado para bombear el agua a los consumidores y un apartado dedicado a los permisos, obtención de terrenos y obra civil. En este apartado hemos incluido todo lo necesario para que la planta desalinizadora pueda realizar su puesta en servicio. Procedemos a continuación a través de la tabla siguiente a definir el proceso metodológico empleado para estudiar cada una de las etapas necesarias que afectan al coste de inversión.

Etapa	Denominación	Componentes
1	Toma y bombeo de agua de mar	Tubería y bomba de impulsión. Depósito y bomba a O.I.
2	Pretratamientos físicos y químicos	Filtros de arena y cartuchos H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOCl, FeCl <sub>3</sub> , (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> y NaHSO <sub>3</sub>
3	Grupo motobomba de alta presión (BAP)	
4	Bastidores de membranas	
5	Sist. de recuperación de energía (SRE)	
6	Postratamientos	Ca(OH) <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y NaOCl.
7	Componentes varios	Medidores de pH, de temperatura, manómetros, caudalímetros, presostatos, depósito de equilibrio osmótico, depósito de agua
8	Instalación eléctrica	Red de M.T. y B.T., Centro de transformación, C.G.P. e instalación interior
9	Bombeo de agua a consumidores	Tubería y bomba de impulsión
10	Terrenos, obra civil, proyectos y licencias	Terrenos, obra civil, proyectos y licencias,

Tabla 23. Proceso metodológico para el coste de inversión

### Etapa 1. Toma y bombeo de agua de mar a la planta desalinizadora

En esta primera etapa abordamos los siguientes elementos que corresponden a la impulsión de agua de mar, como es la canalización y la bomba sumergible, un pequeño depósito de almacenamiento de agua de alimentación para poder solucionar cualquier contratiempo de carácter leve o inmediato que se pueda producir en la planta y una pequeña bomba para impulsar el agua en determinados momentos desde el depósito de almacenamiento al proceso de ósmosis inversa.

#### a.1.1.1 Tubería de Impulsión

Para la justificación de la tubería de impulsión nos hemos basado en las expresiones matemáticas derivadas del modelo solución-difusión de la O.I. y que presentamos a continuación:

$$Q_{\text{alimentación}} (\text{m}^3/\text{h}) = \frac{Q_{\text{bruto}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}{\frac{\text{F.C.}}{100}} \cdot \frac{1\text{día}}{24\text{h}}$$

Donde  $Q_{\text{alimentación}}$  correspondería al caudal neto que se calcula mediante la fórmula anterior y en base al factor de conversión adoptado en nuestra T.D. que variará entre el 42 y 45%.

$$v = \frac{Q_a}{S} = \frac{Q_a}{\pi \cdot r^2} = \frac{Q_a}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot \phi^2} \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot v \cdot 3600}} \cdot 1000$$

Para justificar el diámetro lo hacemos en base a la expresión matemática anterior y teniendo en cuenta que la velocidad de impulsión del agua puede oscilar entre 0,4 y 1,2 m/s, pero se recomienda que el valor sea de 1m/s para así garantizar el correcto funcionamiento del diseño de la misma.

En la tabla siguiente obtenemos los valores del diámetro de la tubería de impulsión.

DIAMETRO TUBERÍA DE IMPULSIÓN					
Q (m³/día)	F.C. (%)	Qa (m³/h)	v (m/s)	Ø (mm)	Ø NORM. (mm)
500	42	49,60	1,00	132,49	160
	45	46,30	1,00	127,99	160
1.000	42	99,21	1,00	187,36	200
	45	92,59	1,00	181,01	200
2.000	42	198,41	1,00	264,97	300
	45	185,19	1,00	255,99	300
5.000	42	496,03	1,00	418,96	600
	45	462,96	1,00	404,75	600
7.500	42	744,05	1,00	513,11	600
	45	694,44	1,00	495,72	600
10.000	42	992,06	1,00	592,49	600
	45	925,93	1,00	572,40	600
12.000	42	1.190,48	1,00	649,04	800
	45	1.111,11	1,00	627,04	800
15.000	42	1.488,10	1,00	725,65	800
	45	1.388,89	1,00	701,05	800

Tabla 24. Justificación del diámetro de la tubería de impulsión

## a.1.1.2 Electrobomba sumergible

Para la justificación de la potencia absorbida de la bomba que nos eleva el agua desde el mar hasta la planta desalinizadora hemos tenido en cuenta la siguiente expresión matemática derivada del modelo de la potencia teórica para una bomba hidráulica:

$$P(\text{kW}) = Q \cdot \rho \cdot H / \eta$$

$$P(\text{CV}) = \frac{1,25 \cdot Q_a \cdot \rho \cdot H}{4500 \cdot \eta}$$

Siendo:

- $Q_a$ : caudal de alimentación en l/min
- $\rho$ : densidad el agua=1,025 g/cm<sup>3</sup>
- H: Altura total en m.c.a.
- $\eta$ : Rendimiento total del grupo=0,80

Dado que la presión requerida a la llegada a la planta, es 10 m.c.a., tendremos que:

$$H = 10 + h + p$$

Siendo:

- h: altura manométrica en m.c.a.
- p: pérdidas en m.c.a.

Las pérdidas de carga por fricción es de 0,020 m.c.a. por cada metro de recorrido horizontal para las tuberías hasta 400 mm y hasta 800 mm tendrán una pérdida de carga de 0,030 m.c.a/m. Considerando una pérdida en filtros de 10 m.c.a., las pérdidas totales serían para una longitud de 150 m:

$$p = \text{Pérdida} \cdot L \cdot 10$$

En base a lo anterior y a la explicación del procedimiento adoptado, procedemos mediante la siguiente tabla a observar los resultados obtenidos de la potencia de la bomba de impulsión:

POTENCIA DE LA BOMBA DE IMPULSIÓN									
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (l/min)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	h (m.c.a.)	p (m.c.a.)	H (m.c.a.)	$\eta$	P (CV)	POT (kW)
500	42	826,72	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	13,78	10,13
	45	771,60	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	12,86	9,45
1.000	42	1.653,44	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	27,56	20,25
	45	1.543,21	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	25,72	18,90
2.000	42	3.306,88	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	55,11	40,51
	45	3.086,42	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	51,44	37,81
5.000	42	8.267,20	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	142,09	104,44
	45	7.716,05	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	132,62	97,48
7.500	42	12.400,79	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	213,14	156,66
	45	11.574,07	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	198,93	146,21
10.000	42	16.534,39	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	284,18	208,88
	45	15.432,10	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	265,24	194,95
12.000	42	19.841,27	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	341,02	250,65
	45	18.518,52	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	318,29	233,94
15.000	42	24.801,59	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	426,28	313,31
	45	23.148,15	1,025	25,00	14,50	49,50	0,80	397,86	292,43

Tabla 25. Justificación de la potencia de la bomba de impulsión

De esta manera hemos obtenido la potencia de la bomba primero en CV y después en kW, que es importante para obtener por un lado su coste total y por otro lado, el consumo energético de la impulsión de agua de mar hasta la planta desalinizadora.

#### a.1.1.3 Depósito de agua de alimentación

Como comentamos en el inicio, la tercera parte de esta primera etapa es la de justificar el depósito de agua de alimentación, que inicialmente adoptaremos que tenga una capacidad media para una autonomía de la planta de 15 minutos.

En base a esto, calcularemos el depósito sabiendo que adoptamos como medidas normalizadas para nosotros una altura del depósito de 4 metros, de los cuales 2 metros irán siempre por debajo de la rasante.

En base a lo anterior presentamos la siguiente tabla con las dimensiones necesarias del depósito en función de los metros cúbicos que son necesarios en cada caso.

DEPÓSITO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN							
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	Q' (m <sup>3</sup> /15min)	h (m)	l (m)	a (m)	V (m <sup>3</sup> )
500	42	49,60	12,40	4	2	2	16
	45	46,30	11,57	4	2	2	16
1.000	42	99,21	24,80	4	2	3	24
	45	92,59	23,15	4	2	3	24
2.000	42	198,41	49,60	4	3	4,5	54
	45	185,19	46,30	4	3	4,5	54
5.000	42	496,03	124,01	4	5	6	120
	45	462,96	115,74	4	5	6	120
7.500	42	744,05	186,01	4	7	7	196
	45	694,44	173,61	4	7	7	196
10.000	42	992,06	248,02	4	8	8	256
	45	925,93	231,48	4	8	8	256
12.000	42	1.190,48	297,62	4	9	8,5	306
	45	1.111,11	277,78	4	9	8,5	306
15.000	42	1.488,10	372,02	4	10	9,5	380
	45	1.388,89	347,22	4	10	9,5	380

Tabla 26. Volumen depósito agua de alimentación

Una vez que se ha justificado las dimensiones del depósito de alimentación, vamos a calcular el volumen total de hormigón que se necesita en cada caso, para que en el apartado de resultados y gráficas podamos obtener el coste en función del precio del m<sup>3</sup> de hormigón armado.

Para ello calcularemos dos volúmenes que sumaremos posteriormente, que son el correspondiente a la base y el correspondiente a los laterales.

El volumen de la base será el largo por el ancho por el espesor, que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{base}} = l \cdot a \cdot \text{espesor}(0,4)$$

El volumen correspondiente a los laterales será la altura por el lado más grande por 4 lados y por el espesor que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{lateral}} = 4 \cdot h \cdot \text{lado}(\text{grande}) \cdot \text{espesor}(0,4)$$

Presentamos a continuación la tabla con las cantidades de m<sup>3</sup> de hormigón necesario para cada combinación.

VOLUMEN DEPOSITO AGUA DE ALIMENTACION				
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	V <sub>base</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>lateral</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>total</sub> (m <sup>3</sup> )
500	42	1,60	12,80	14,40
	45	1,60	12,80	14,40
1.000	42	2,40	19,20	21,60
	45	2,40	19,20	21,60
2.000	42	5,40	28,80	34,20
	45	5,40	28,80	34,20
5.000	42	12,00	38,40	50,40
	45	12,00	38,40	50,40
7.500	42	19,60	44,80	64,40
	45	19,60	44,80	64,40
10.000	42	25,60	51,20	76,80
	45	25,60	51,20	76,80
12.000	42	30,60	57,60	88,20
	45	30,60	57,60	88,20
15.000	42	38,00	64,00	102,00
	45	38,00	64,00	102,00

Tabla 27. Justificación del depósito de agua de alimentación

#### a.1.1.4 Bomba de impulsión desde el depósito hasta el proceso de O.I.

Para llevar el agua del depósito de alimentación al proceso de O.I. como es natural necesitamos una pequeña bomba que realice el traspaso. Dichas bombas han sido calculadas con las expresiones matemáticas utilizadas en todo momento en esta T.D., por lo que pasamos a mostrar una tabla con las necesidades para cada caso. En dicha tabla vamos a mostrar las potencias correspondientes a las bombas de alimentación y a las bombas que impulsan el agua desde el depósito de alimentación al proceso de ósmosis inversa.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	B. Alimentación (kW)	B. Depósito-O.I. (kW)
-----------------------------	----------------------	-----------------------

500-42	10	5
500-45	9	5
1.000-42	20	5
1.000-45	19	5
2.000-42	40	5
2.000-45	38	5
5.000-42	105	5
5.000-45	97,5	5
7.500-42	156	5
7.500-45	146	5
10.000-42	209	5
10.000-45	195	5
12.000-42	250	5
12.000-45	234	5
15.000-42	313	5
15.000-45	292	5

Tabla 28. Potencias de bomba de alimentación y bomba depósito a O.I.

## Etapa 2. Pretratamientos físicos y químicos

La segunda etapa que corresponde al coste de la inversión es la que está destinada a la preparación del agua mediante los tratamientos físicos y químicos que a continuación describimos, para que dicha agua sea adecuada para ser introducida en el grupo de motobomba de alta presión. Calcularemos y dimensionaremos primero los tratamientos físicos que corresponden a los filtros de arena y de cartucho para posteriormente calcular y dimensionar los depósitos que corresponden a los tratamientos químicos.

### Tratamientos Físicos

#### a.1.2.1 Filtros de arena

Los filtros de arena vienen definidos fundamentalmente por las velocidades de filtración y a partir de ellas se determina la superficie filtrante. Como el coste de un filtro es función de la superficie filtrante, el diseño debe tratar de conseguir la mayor producción sobre la menor superficie, pero ello implica un profundo conocimiento del tipo de agua a filtrar y de su variación en el tiempo así como la adecuada elección del medio o los medios filtrantes.

El objetivo final es conseguir un filtro que proporcione un agua que responda a las características exigidas, que los ciclos de funcionamiento sean lo más largos posibles y que una

vez que se ensucie u obstruye, el lavado del mismo permita recuperar sus condiciones de funcionamiento.

Para la eliminación de los sólidos suspendidos que pudiera contener el agua de alimentación y reducción por tanto de la concentración de coloides (SDI), el agua de mar se filtrará a través de filtros de presión horizontales o verticales, a un régimen nominal máximo de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ , velocidad de filtración, y con una mezcla de arenas de granulometrías entre 0,8 y 1,2 mm como material filtrante.

Para calcular la superficie filtrante lo haremos en base a la siguiente fórmula:

$$S_f = \frac{Q_a}{v_f}$$

Dónde:

$S_f$ : Superficie de filtración ( $\text{m}^2$ )

$Q_a$ : Caudal de alimentación a la planta ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$v_f$ : Velocidad de filtración ( $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )

El caudal de agua de alimentación lo calculamos teniendo en cuenta para cada caso el factor de conversión, que como hemos adoptado desde un principio, tendrá los valores de 42 y 45% de conversión.

$$Q_{\text{alimentación}} [\text{m}^3 / \text{h}] = \frac{\text{Caudal} [\text{m}^3 / \text{día}]}{\frac{FC}{100}} \cdot \frac{1}{24\text{h}}$$

Se diseñan líneas en paralelo para poder llevar a cabo la limpieza de los mismos. Se dimensionan de manera que pueda realizarse el lavado de uno mientras su caudal es circulado a través del otro. Esto supone la conexión de los colectores de entrada y salida de unos y otros para poder realizar dicha operación.

Las velocidades de diseño deben estar comprendidas entre 7 y  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  cuando todas las unidades están en funcionamiento y no debe sobre pasar los 12 ó  $13 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  cuando se procede al lavado de uno de los filtros y el resto está filtrando el caudal total de alimentación de la planta.

En función de lo comentado adoptamos un valor de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  como velocidad de filtración adecuada para el diseño de las plantas desalinizadoras. Presentamos por tanto la tabla resultante con las superficies de filtración necesarias para cada caso.

SUPERFICIE DE FILTRADO				
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	v <sub>f</sub> (m/h)	S <sub>f</sub> (m <sup>2</sup> )
500	42	49,60	20,00	2,48
	45	46,30	10,00	4,63
1.000	42	99,21	10,00	9,92
	45	92,59	10,00	9,26
2.000	42	198,41	10,00	19,84
	45	185,19	10,00	18,52
5.000	42	496,03	10,00	49,60
	45	462,96	10,00	46,30
7.500	42	744,05	10,00	74,40
	45	694,44	10,00	69,44
10.000	42	992,06	10,00	99,21
	45	925,93	10,00	92,59
12.000	42	1.190,48	10,00	119,05
	45	1.111,11	10,00	111,11
15.000	42	1.488,10	10,00	148,81
	45	1.388,89	10,00	138,89

Tabla 29. Superficies de filtración

#### a.1.2.2 Filtros de cartucho

Justificamos en este apartado la cantidad de filtros de cartuchos que hacen falta inicialmente para la puesta en servicio de la planta. Se han elegido cartuchos filtrantes básicos de la marca CUNO, cuyos cartuchos principales son de 1.250 mm de longitud que a su vez son capaces de alojar en su interior 5 cartuchos elementales de 250 mm de longitud.

Para calcular el número de filtros de cartucho nos hace falta conocer el caudal que llamamos de alimentación, Qa, que es el que se obtiene en función del caudal inicial de producción de la planta, Q en m<sup>3</sup>/día, y el factor de conversión, todo ello pasado a la unidad de m<sup>3</sup>/h. Lo anterior responde a la siguiente fórmula básica que mostramos a continuación:

$$Q_{\text{alimentación}} (\text{m}^3/\text{h}) = \frac{Q_{\text{bruto}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}{\frac{\text{F.C.}}{100}} \cdot \frac{1\text{día}}{24\text{h}}$$

donde:

$Q_a$  es el caudal de alimentación en  $\text{m}^3/\text{h}$

$Q_{\text{bruto}}$  es el caudal de producción de la planta en  $\text{m}^3/\text{día}$

F.C. es el factor de conversión utilizado en tanto % (42 ó 45)

Una vez definido el caudal  $Q_a$  con el que vamos a trabajar, establecemos el caudal normal de operación, factor de diseño dado por el modelo de cartucho, por cada cartucho elemental de 250 mm que corresponde a 10 l/min, valor típico recomendado por el fabricante.

Dicho caudal normal de operación en las unidades adecuadas toma el valor siguiente:

$$10 \text{ l}/\text{min} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1/60} = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como comentamos anteriormente, un filtro de cartucho de 1.250 mm de longitud está subdividido por 5 cartuchos elementales de 250 mm de longitud cada uno.

En base a esto último, para el cálculo del número de filtros de cartuchos de 1.250 mm, debemos aplicar la siguiente expresión:

$$\text{N}^\circ \text{ de filtros de cartucho} = \frac{Q_a}{0,6} \cdot \frac{1}{5}$$

Presentamos a continuación la tabla identificativa del número de filtros de cartucho necesarios para cada caso.

Nº DE FILTROS DE CARTUCHOS		
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Nº DE FILTROS
500	42	17
	45	16
1.000	42	34
	45	32
2.000	42	68
	45	64
5.000	42	170
	45	160
7.500	42	255
	45	240
10.000	42	340
	45	320
12.000	42	408
	45	384
15.000	42	510
	45	480

Tabla 30. Número de filtros de cartucho

### Tratamientos químicos

Para iniciar el coste de inversión correspondiente a los tratamientos químicos, definimos previamente los valores de los caudales de agua de alimentación, de agua de permeado y de agua de rechazo. Para ello adoptaremos las siguientes fórmulas básicas.

#### a) Caudal de agua de alimentación

$$Q_{\text{alimentación}} [\text{m}^3 / \text{h}] = \frac{\text{Caudal} [\text{m}^3 / \text{día}]}{\frac{\text{FC}}{100}} \cdot \frac{1}{24\text{h}}$$

#### b) Caudal de agua de permeado

$$Q_{\text{permeado}} [\text{m}^3 / \text{h}] = Q_{\text{alimentación}} [\text{m}^3 / \text{h}] \cdot \frac{\text{FC}}{100}$$

## c) Caudal de agua de rechazo

$$Q_{\text{rechazo}} [\text{m}^3 / \text{h}] = Q_{\text{alimentación}} [\text{m}^3 / \text{h}] - Q_{\text{permeado}} [\text{m}^3 / \text{h}]$$

En base a las anteriores ecuaciones presentamos la tabla siguiente con todos los caudales de diseño necesarios para poder calcular los depósitos de reactivos químicos.

CAUDALES DE DISEÑO				
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	Qp (m <sup>3</sup> /h)	Qr (m <sup>3</sup> /h)
500	42	49,60	20,83	28,77
	45	46,30	20,83	25,46
1.000	42	99,21	41,67	57,54
	45	92,59	41,67	50,93
2.000	42	198,41	83,33	115,08
	45	185,19	83,33	101,85
5.000	42	496,03	208,33	287,70
	45	462,96	208,33	254,63
7.500	42	744,05	312,50	431,55
	45	694,44	312,50	381,94
10.000	42	992,06	416,67	575,40
	45	925,93	416,67	509,26
12.000	42	1.190,48	500,00	690,48
	45	1.111,11	500,00	611,11
15.000	42	1.488,10	625,00	863,10
	45	1.388,89	625,00	763,89

Tabla 31. Caudales de diseño

Para el cálculo del caudal máximo y mínimo de las bombas dosificadoras utilizamos la siguiente expresión matemática:

$$Q (\text{l/h}) = \frac{\text{Concentración (mg/l)} \cdot Q_{\text{permeado}} (\text{m}^3/\text{h})}{\text{Concentración comercial (g/l)}}$$

Dicha expresión la hemos presentado con el caudal del permeado, haciendo notar que dicho caudal variará a caudal de alimentación o caudal de rechazo según tratemos cada tipo de agua. Se utilizarán los siguientes reactivos:

- Hipoclorito sódico comercial del 13% de cloro activo (valor de 160 g/l).
- Acido sulfúrico comercial del 98% de concentración (valor de 1800 g/l).
- Cloruro férrico comercial del 40% de riqueza (valor de 567 g/l).
- Bisulfito sódico y hexametrafosfato sódico al 25% (valor de 250 g/l).

Dispondremos de un depósito con una autonomía que estará en torno a los 10 días. Para verificar dicha condición nos hemos basado en la siguiente expresión:

$$\text{Depósito (l)} = Q_{\text{med}}(\text{l/h}) * 24\text{h} * (10\text{días})$$

Evidentemente, las cantidades en litros que se obtengan tendrán que ser llevadas a depósitos con cantidades normalizadas. Además del depósito, necesitamos un agitador y una bomba dosificadora que se elegirá en base al caudal medio que calcularemos a continuación. En las tablas 32, 33, 34, 35 y 36, que adjuntamos para cada uno de los reactivos químicos presentamos los valores comentados con anterioridad así como los litros necesarios de cada reactivo a ubicar en el depósito.

#### a.1.2.3 Hipoclorito sódico

HIPOCLORITO SODICO								
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Qmáx (l/h)	Qmed (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	6	4	160	1,86	1,24	300
	45	46,30	6	4	160	1,74	1,16	300
1.000	42	99,21	6	4	160	3,72	2,48	600
	45	92,59	6	4	160	3,47	2,31	600
2.000	42	198,41	6	4	160	7,44	4,96	1.200
	45	185,19	6	4	160	6,94	4,63	1.200
5.000	42	496,03	6	4	160	18,60	12,40	3.000
	45	462,96	6	4	160	17,36	11,57	3.000
7.500	42	744,05	6	4	160	27,90	18,60	4.500
	45	694,44	6	4	160	26,04	17,36	4.500
10.000	42	992,06	6	4	160	37,20	24,80	6.000
	45	925,93	6	4	160	34,72	23,15	6.000
12.000	42	1.190,48	6	4	160	44,64	29,76	7.200
	45	1.111,11	6	4	160	41,67	27,78	7.200
15.000	42	1.488,10	6	4	160	55,80	37,20	9.000
	45	1.388,89	6	4	160	52,08	34,72	9.000

Tabla 32. Justificación de las cantidades y del depósito de hipoclorito sódico

## a.1.2.4 Cloruro Férrico (Coagulante)

COAGULANTE								
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Qmáx (l/h)	Qmed (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	7	5	567	0,61	0,44	110
	45	46,30	7	5	567	0,57	0,41	100
1.000	42	99,21	7	5	567	1,22	0,87	210
	45	92,59	7	5	567	1,14	0,82	200
2.000	42	198,41	7	5	567	2,45	1,75	420
	45	185,19	7	5	567	2,29	1,63	400
5.000	42	496,03	7	5	567	6,12	4,37	1.100
	45	462,96	7	5	567	5,72	4,08	1.000
7.500	42	744,05	7	5	567	9,19	6,56	1.600
	45	694,44	7	5	567	8,57	6,12	1.500
10.000	42	992,06	7	5	567	12,25	8,75	2.100
	45	925,93	7	5	567	11,43	8,17	2.000
12.000	42	1.190,00	7	5	567	14,70	10,50	2.600
	45	1.111,00	7	5	567	13,72	9,80	2.500
15.000	42	1.488,00	7	5	567	18,37	13,12	3.200
	45	1.389,00	7	5	567	17,15	12,25	3.000

Tabla 33. Justificación de las cantidades y del depósito de coagulante

## a.1.2.5 Acido sulfúrico

ACIDO SULFURICO								
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Qmáx (l/h)	Qmed (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	30	25	1.800	0,83	0,69	170
	45	46,30	30	25	1.800	0,77	0,64	160
1.000	42	99,21	30	25	1.800	1,65	1,38	350
	45	92,59	30	25	1.800	1,54	1,29	320
2.000	42	198,41	30	25	1.800	3,31	2,76	670
	45	185,19	30	25	1.800	3,09	2,57	670
5.000	42	496,03	30	25	1.800	8,27	6,89	1.700
	45	462,96	30	25	1.800	7,72	6,43	1.600
7.500	42	744,05	30	25	1.800	12,40	10,33	2.500
	45	694,44	30	25	1.800	11,57	9,65	2.400
10.000	42	992,06	30	25	1.800	16,53	13,78	3.400
	45	925,93	30	25	1.800	15,43	12,86	3.200
12.000	42	1.190,00	30	25	1.800	19,84	16,53	4.000
	45	1.111,00	30	25	1.800	18,52	15,43	3.800
15.000	42	1.488,00	30	25	1.800	24,80	20,67	5.000
	45	1.389,00	30	25	1.800	23,15	19,29	10.000

Tabla 34. Justificación de las cantidades y del depósito de ácido sulfúrico

## a.1.2.6 Hexametáfosfato sódico (Dispersante)

DISPERSANTE								
Q. (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Qmáx (l/h)	Qmed (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	6	4,5	250	1,19	0,89	220
	45	46,30	6	4,5	250	1,11	0,83	200
1.000	42	99,21	6	4,5	250	2,38	1,79	430
	45	92,59	6	4,5	250	2,22	1,67	400
2.000	42	198,41	6	4,5	250	4,76	3,57	900
	45	185,19	6	4,5	250	4,44	3,33	800
5.000	42	496,03	6	4,5	250	11,90	8,93	2.200
	45	462,96	6	4,5	250	11,11	8,33	2.000
7.500	42	744,05	6	4,5	250	17,86	13,39	3.300
	45	694,44	6	4,5	250	16,67	12,50	3.000
10.000	42	992,06	6	4,5	250	23,81	17,86	4.500
	45	925,93	6	4,5	250	22,22	16,67	4.000
12.000	42	1.190,48	6	4,5	250	28,57	21,43	5.300
	45	1.111,11	6	4,5	250	26,67	20,00	5.000
15.000	42	1.488,10	6	4,5	250	35,71	26,79	7.000
	45	1.388,89	6	4,5	250	33,33	25,00	6.500

Tabla 35. Justificación de las cantidades y del depósito de dispersante

## a.1.2.7 Bisulfito sódico

BISULFITO SODICO								
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Qmáx (l/h)	Qmed (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	7	4,5	250	1,39	0,89	220
	45	46,30	7	4,5	250	1,30	0,83	200
1.000	42	99,21	7	4,5	250	2,78	1,79	450
	45	92,59	7	4,5	250	2,59	1,67	420
2.000	42	198,41	7	4,5	250	5,56	3,57	900
	45	185,19	7	4,5	250	5,19	3,33	800
5.000	42	496,03	7	4,5	250	13,89	8,93	2.200
	45	462,96	7	4,5	250	12,96	8,33	2.100
7.500	42	744,05	7	4,5	250	20,83	13,39	3.300
	45	694,44	7	4,5	250	19,44	12,50	3.100
10.000	42	992,06	7	4,5	250	27,78	17,86	4.400
	45	925,93	7	4,5	250	25,93	16,67	4.200
12.000	42	1.190,48	7	4,5	250	33,33	21,43	5.200
	45	1.111,11	7	4,5	250	31,11	20,00	5.000
15.000	42	1.488,10	7	4,5	250	41,67	26,79	6.500
	45	1.388,89	7	4,5	250	38,89	25,00	6.100

Tabla 36. Justificación de las cantidades y del depósito de bisulfito sódico

### **Etapas 3. Grupo de motobomba de alta presión BAP**

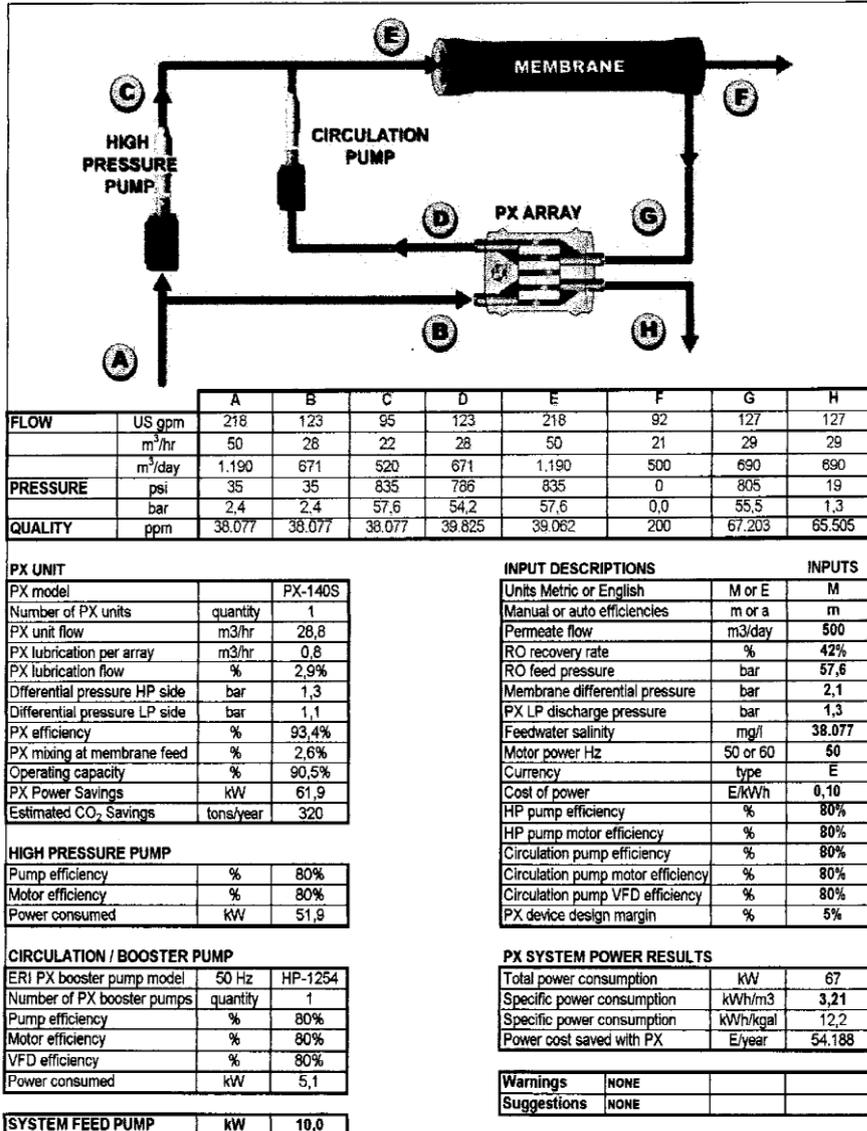
Para realizar el estudio del coste en inversión que supone el grupo de motobomba de alta presión, de aquí en adelante BAP, tenemos primero que calcular que tipo de bomba de alta presión y que tipo de bomba booster tenemos que colocar para cada uno de los casos. Estos cálculos se han realizado mediante la hoja de cálculo del programa ERI-PX, [157], de la cual hemos escogido los resultados que hemos obtenido en la misma. Presentamos a continuación una hoja de cálculo tipo en la cual se puede observar las siguientes premisas elegidas por nosotros:

- a) El rendimiento de la maquinaria adoptada es del 80%.
- b) Los valores del consumo son valores medios para cada caso.

En función de lo comentado anteriormente, presentamos en la tabla siguiente, la hoja de cálculo tipo. En el anexo de esta T.D. se han recogido la totalidad de los datos correspondientes a las hojas de cálculos realizadas para el trabajo.



PX® Energy Recovery Device System Analysis



Notes:  
ERI PX device and circulation pump selection is based upon assumptions not stated here. Please refer ERI sales personnel for additional info

Tabla 37. Justificación del consumo energético con ERI-PX. [157]

De lo realizado y comentado anteriormente, nos lleva a reflejar en una tabla los potencias de las bombas de alta presión y de las bombas booster necesarias para la inversión en la planta desalinizadora para cada caso en función de la producción y del factor de conversión aplicado.

POTENCIA EN kW DE LAS BAP Y BOOSTER			
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	BAP (kW)	BOOSTER (kW)
500	42	51	5
500	45	58	4,5
1.000	42	107	9
1.000	45	112	8
2.000	42	210	19
2.000	45	225	18,5
5.000	42	501	40
5.000	45	527	38
7.500	42	733	63
7.500	45	773	60,5
10.000	42	977	85,5
10.000	45	1.030	80,5
12.000	42	1.170	100
12.000	45	1.237	84,5
15.000	42	1.462	131
15.000	45	1.546	113

Tabla 38. Potencia en kW de BAP y BOOSTER

#### Etapa 4. Bastidores de membranas semipermeables

Inicialmente, tenemos que calcular el número de membranas que nos hacen falta para que la planta funcione normalmente dentro de los valores de diseño.

En este apartado estudiaremos cuantas membranas necesitamos en cada una de las combinaciones caudal–factor de conversión.

Para la realización de nuestra T.D. hemos elegido al fabricante de membranas DOW, el cual suministra membranas de la marca FILMTEC con las características siguientes:

Membrana tipo:	SW30HR LE-400
Material:	Poliamida aromática (TFC)
Configuración:	Arrollamiento en espiral
Caudal nominal de producción (m <sup>3</sup> /día):	28
Rechazo mínimo de sales:	99,6%
Rechazo de boro:	91%
Presión máxima de operación (bar):	83
Temperatura máxima de operación:	45°C
Tolerancia al cloro libre:	<0.1 ppm
Dimensiones (mm):	1.016 de longitud y 201 de diámetro
Superficie activa (m <sup>2</sup> ):	37

Para elegir el número de membranas nos hemos basado en la producción nominal de la membrana que como hemos comentado es de 28 m<sup>3</sup>/día.

A continuación, para elegir el número correcto de membranas debemos dividir el caudal diario entre la producción nominal de la membrana y luego escogemos de la tabla del estudio del consumo energético la cantidad de membranas más próxima.

En la siguiente tabla mostraremos cual es la opción escogida en cada caso, con el número de membranas necesarias para el buen funcionamiento de la planta en base a la producción y el factor de conversión:

Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	MEMBRANAS
500	42	48
	45	40
1.000	42	88
	45	80
2.000	42	176
	45	160
5.000	42	424
	45	400
7.500	42	640
	45	600
10.000	42	848
	45	800
12.000	42	1.024
	45	960
15.000	42	1.272
	45	1.192

Tabla 39. Justificación del número de membranas

## Etapa 5. Sistema de recuperación de energía

Como hemos comentado en reiteradas veces, el sistema de recuperación de energía mediante el cual hemos realizado la T.D. es el sistema ERI-PX. Al igual que en el grupo de motobomba de alta presión, de aquí en adelante BAP, nos hemos apoyado en la realización de la hoja de cálculo del programa ERI-PX de la cual hemos escogido los resultados que hemos obtenido en la misma. La hoja de cálculo tipo la hemos presentado anteriormente, comentando que las premisas elegidas son las mismas para el cálculo de la maquinaria de recuperación de energía. También hacemos hincapié en que en el anexo de esta T.D. se encuentra reflejado la totalidad de los datos correspondientes a las hojas de cálculos con las que hemos trabajado.

Reflejamos a continuación en una tabla la cantidad de unidades de ERI-PX y el modelo utilizado para cada uno de los casos en función de la producción y del factor de conversión aplicado.

SIST. DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA. ERI-PX			
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Modelo	Unidades
500	42	140S	1
500	45	140S	1
1.000	42	300	1
1.000	45	260	1
2.000	42	300	2
2.000	45	260	2
5.000	42	300	5
5.000	45	300	4
7.500	42	300	7
7.500	45	300	6
10.000	42	300	9
10.000	45	300	8
12.000	42	300	11
12.000	45	300	10
15.000	42	300	13
15.000	45	300	12

Tabla 40. Justificación del sistema de recuperación de energía

## Etapa 6. Postratamientos

Al igual que hicimos en los pretratamientos, obtenemos inicialmente los valores de los caudales de alimentación, permeado y rechazo, que cogemos de las tablas presentadas en su momento. La remineralización pasa por dos fases. La primera es la de calcificar el agua mediante  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y la segunda es en base a añadir  $\text{CO}_2$  para su carbonatación. El segundo postratamiento que hemos utilizado es a base de hipoclorito sódico para clorar el agua.

Para el cálculo de los depósitos hemos procedido de la manera siguiente.

### a.1.6.1 Remineralización. Calcita

Para determinar el volumen del depósito del lecho de calcita tenemos que tener en cuenta 2 puntos:

Tiempo de contacto, es decir la reacción de la calcita con el agua no es instantánea, necesita un intervalo de tiempo mínimo, aproximado de 4 minutos.

La profundidad del lecho de calcita, para poder determinar el área necesaria para la reacción, normalmente es de 1,5m.

A través de las siguientes expresiones matemáticas calculamos el área y posteriormente el diámetro necesario para cada caso. En la tabla que se adjunta se presentan los diámetros y las superficies para cada caso del depósito de calcita.

$$A = \frac{Q_{\text{perm}} \cdot 4 \text{ min}}{60 \text{ min} \cdot 1,5\text{m}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

DEPÓSITO DE CALCITA					
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Q <sub>alimentación</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>permeado</sub> (m <sup>3</sup> /h)	A (m <sup>2</sup> )	Ø (m)
500	42	49,60	20,83	0,93	1,09
	45	46,30	20,83	0,93	1,09
1.000	42	99,21	41,67	1,85	1,54
	45	92,59	41,67	1,85	1,54
2.000	42	198,41	83,33	3,70	2,17
	45	185,19	83,33	3,70	2,17
5.000	42	496,03	208,33	9,26	3,43
	45	462,96	208,33	9,26	3,43
7.500	42	744,05	312,50	13,89	4,21
	45	694,44	312,50	13,89	4,21
10.000	42	992,06	416,67	18,52	4,86
	45	925,93	416,67	18,52	4,86
12.000	42	1.190,48	500,00	22,22	5,32
	45	1.111,11	500,00	22,22	5,32
15.000	42	1.488,10	625,00	27,78	5,95
	45	1.388,89	625,00	27,78	5,95

Tabla 41. Justificación del depósito de calcita

#### a.1.6.2 Hipoclorito Sódico

De entre los diferentes procedimientos de cloración existentes, se ha decidido realizar dosificaciones de hipoclorito sódico por ser el procedimiento más utilizado e implantando, más ventajoso respecto a otros, económico y por su buen funcionamiento.

Para el cálculo del caudal máximo y mínimo de las bombas dosificadoras utilizamos la siguiente fórmula:

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{\text{Concentración (mg/l)} \cdot Q_{\text{permeado}} \text{ (m}^3\text{/h)}}{\text{Concentración comercial (g/l)}}$$

Dicha fórmula la hemos presentado con el caudal del permeado, puesto que estamos en la última etapa del proceso donde el agua tratada es solamente la del permeado.

Dispondremos de un depósito con una autonomía que estará entorno a los 10 días. Para verificar dicha condición nos hemos basado en la siguiente expresión:

$$\text{Depósito (l)} = Q_{\text{med}}(\text{l/h}) * 24\text{h} * (10\text{días})$$

Evidentemente, las cantidades en litros que se obtengan tendrán que ser llevadas a depósitos con cantidades normalizadas. Además del depósito, necesitamos un agitador y una bomba dosificadora que se elegirá en base al caudal medio que calcularemos a continuación. En la tabla que adjuntamos para este reactivo químico presentamos los valores comentados con anterioridad así como los litros necesarios de cada reactivo a ubicar en el depósito.

HIPOCLORITO SÓDICO									
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Q <sub>alimentación</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>permeado</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V. máx. (mg/l)	V. med. (mg/l)	V. com. (g/l)	Q <sub>máx</sub> (l/h)	Q <sub>med</sub> (l/h)	DEPÓSITO (l)
500	42	49,60	20,83	6	4	160	0,78	0,52	130
	45	46,30	20,83	6	4	160	0,78	0,52	130
1.000	42	99,21	41,67	6	4	160	1,56	1,04	250
	45	92,59	41,67	6	4	160	1,56	1,04	250
2.000	42	198,41	83,33	6	4	160	3,13	2,08	500
	45	185,19	83,33	6	4	160	3,13	2,08	500
5.000	42	496,03	208,33	6	4	160	7,81	5,21	1.300
	45	462,96	208,33	6	4	160	7,81	5,21	1.300
7.500	42	744,05	312,50	6	4	160	11,72	7,81	1.900
	45	694,44	312,50	6	4	160	11,72	7,81	1.900
10.000	42	992,06	416,67	6	4	160	15,63	10,42	2.500
	45	925,93	416,67	6	4	160	15,63	10,42	2.500
12.000	42	1.190,48	500,00	6	4	160	18,75	12,50	3.200
	45	1.111,11	500,00	6	4	160	18,75	12,50	3.200
15.000	42	1.488,10	625,00	6	4	160	23,44	15,63	3.800
	45	1.388,89	625,00	6	4	160	23,44	15,63	3.800

Tabla 42. Justificación de las cantidades y del depósito de hipoclorito sódico

### Etapa 7. Componentes varios

Presentamos a continuación dentro del capítulo de inversión una etapa que hemos denominado de componentes varios, por interpretar que son elementos que se encuentran situados en diferentes zonas de la planta desalinizadora y con utilidades diferentes. Estos componentes son los siguientes:

#### a.1.7.1 Medidores de pH

Se utilizarán 5 unidades, como sabemos su utilidad es la de medir el valor del pH en diferentes zonas de la planta.

#### a.1.7.2 Medidores de temperatura

Se utilizarán 4 unidades. Su función es importante debido a que la temperatura del agua debe estar controlada en todo momento.

#### a.1.7.3 Manómetros

Se utilizarán 7 unidades. La medida de la presión es un factor a tener en cuenta prácticamente en todos los puntos de la planta.

#### a.1.7.4 Caudalímetros

Se utilizarán 4 unidades. Serán el reflejo fiel de que las cantidades de agua en todo momento son las diseñadas.

#### a.1.7.5 Presostatos de alta y baja presión

Se utilizarán 5 unidades. La bomba de alta presión no puede funcionar con ausencia de agua ya que trabajaría en vacío y por tanto se inutilizaría. Por esta razón se coloca un presostato que se encarga de medir el paso de agua en función de la presión que ejerce.

#### a.1.7.6 Depósito de equilibrio osmótico

Dicho depósito permite mantener la presión en las cajas, evitando que el fenómeno de ósmosis directa dañe las membranas por el lado del permeado. De igual forma, estos depósitos son una reserva de agua para las operaciones de desplazamiento y limpieza de las membranas. En estos casos, el agua tratada se dirige mediante bombas a los bastidores para efectuar el desplazamiento y el lavado cuando sean necesarios.

En concreto, dicho desplazamiento de agua se realiza, independientemente de que la parada se haya realizado de forma voluntaria o motivada por la señal de una anomalía.

El diseño previsto permite mantener siempre lleno el depósito y que, cuando sea necesario, el agua retorne por gravedad a los módulos de O.I..

#### a.1.7.7 Depósito de agua tratada

Por último, presentamos en esta etapa un depósito que estará al final de la cadena en la planta desalinizadora y que servirá para almacenar agua ya tratada que pueda utilizarse ante determinados momentos problemáticos o de urgencias en la planta.

Las características son las mismas y se ha calculado de la misma manera que lo hicimos para el depósito de agua de alimentación.

El depósito de agua tratada, tendrá una capacidad media para una autonomía de la planta como mínimo de 30 minutos. Tendrá una altura de 4 metros, de los cuales 2 metros irán siempre por debajo de la rasante.

Presentamos la siguiente tabla con las dimensiones necesarias del depósito.

DEPÓSITO DE AGUA TRATADA							
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q' (m <sup>3</sup> /30min)	h (m)	l (m)	a (m)	V (m <sup>3</sup> )
500	42	20,83	10,41	4	2	2	16
	45	20,83	10,41	4	2	2	16
1.000	42	41,67	20,83	4	2	3	24
	45	41,67	20,83	4	2	3	24
2.000	42	83,33	41,66	4	3	4,5	54
	45	83,33	41,66	4	3	4,5	54
5.000	42	208,33	104,16	4	5	6	120
	45	208,33	104,16	4	5	6	120
7.500	42	312,50	156,25	4	7	7	196
	45	312,50	156,25	4	7	7	196
10.000	42	416,67	208,33	4	8	8	256
	45	416,67	208,33	4	8	8	256
12.000	42	500,00	250,00	4	9	8,5	306
	45	500,00	250,00	4	9	8,5	306
15.000	42	625,00	312,50	4	10	9,5	380
	45	625,00	312,50	4	10	9,5	380

Tabla 43. Justificación del depósito de agua tratada

Justificamos de la misma manera el volumen total de hormigón que se necesita en cada caso, utilizando las mismas fórmulas que en el caso anterior.

El volumen de la base será el largo por el ancho por el espesor, que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{base}} = l \cdot a \cdot \text{espesor}(0,4)$$

El volumen correspondiente a los laterales será la altura por el lado más grande por 4 lados y por el espesor que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{lateral}} = 4 \cdot h \cdot \text{lado}(\text{grande}) \cdot \text{espesor}(0,4)$$

Presentamos a continuación la tabla con las cantidades de m<sup>3</sup> de hormigón necesario para cada caso.

VOLUMEN DEPOSITO AGUA TRATADA				
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	V <sub>base</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>lateral</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>total</sub> (m <sup>3</sup> )
500	42	1,60	12,80	14,40
	45	1,60	12,80	14,40
1.000	42	2,40	19,20	21,60
	45	2,40	19,20	21,60
2.000	42	5,40	28,80	34,20
	45	5,40	28,80	34,20
5.000	42	12,00	38,40	50,40
	45	12,00	38,40	50,40
7.500	42	19,60	44,80	64,40
	45	19,60	44,80	64,40
10.000	42	25,60	51,20	76,80
	45	25,60	51,20	76,80
12.000	42	30,60	57,60	88,20
	45	30,60	57,60	88,20
15.000	42	38,00	64,00	102,00
	45	38,00	64,00	102,00

Tabla 44. Volumen depósito de agua tratada

## Etapa 8. Instalación eléctrica

Las instalaciones correspondientes a las plantas desalinizadoras, según el caso, las hemos resumido en lo que concierne a la instalación eléctrica correspondiente a cada apartado, considerando que en el caso de que existiese otro tipo de instalación a realizar, el valor en inversión sería mínimo. De todas maneras, en el apartado correspondiente a los costes, dentro del apartado de la instalación eléctrica hemos tenido en cuenta una pequeña parte que correspondería a otras instalaciones.

La instalación eléctrica la hemos separado en 4 apartados bien diferenciados, que son los que corresponden en función de que estemos contratando en alta tensión o en baja tensión y separando las instalaciones de electricidad exteriores de las interiores. En función de esto pasamos a describir la instalación eléctrica. Se adjunta la tabla siguiente donde se muestra el esquema básico.

Esquema de Instalaciones Eléctricas
Red de Media Tensión (MT)
Centro de Transformación (CT)
Red de Baja Tensión (BT)
Caja General de Protección (CGP) e Instalación Interior

Tabla 45. Esquema general para las instalaciones eléctricas

#### a.1.8.1 Red de media tensión (MT)

La red de media tensión está formada por tres conductores de ida y 3 de vuelta en aluminio, es decir,  $3(1 \times 150)$  mm<sup>2</sup> de Al y 12/20 kV. Hemos supuesto para todos los casos que el punto de conexión estará a 100 metros de longitud media. El coste de esta red de media tensión es de 140 €/m lineal. En este coste está contemplado el conductor, los tubos, la zanja, los rellenos, es decir, se ha contemplado en este precio la canalización completa y la aparamenta.

#### a.1.8.2 Centro de transformación (CT)

Para poder obtener el número de centros de transformación y la potencia en kVA correspondiente a cada uno de ellos, nos hemos trasladado al apartado que corresponde al coste del consumo energético y hemos obtenido los datos correspondientes a la potencia de la

totalidad de las bombas, para cada caso. En función de esto, hemos realizado la siguiente tabla en base a fórmula que aportamos a continuación:

$$P \text{ (kVA)} = P \text{ (kW)} \times F_s / 0.8$$

Siendo:

P (kVA), la potencia en kVA demandada por el transformador

P(kW), la potencia en kW de la totalidad de las bombas

Fs el factor de simultaneidad, en nuestro caso es 1

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	P. bombas total (kW)	C.T. (kVA)
500-42	83	-----
500-45	88,2	-----
1.000-42	162	1 de 250
1.000-45	164,5	1 de 250
2.000-42	315	1 de 400
2.000-45	326,5	1 de 400
5.000-42	751,5	1 (630), 1 (400)
5.000-45	764,5	1 (630), 1 (400)
7.500-42	1.107	2 de 630
7.500-45	1.129,5	2 de 630
10.000-42	1.473,5	3 de 630
10.000-45	1.501,5	3 de 630
12.000-42	1.762,5	4 de 630
12.000-45	1.790	4 de 630
15.000-42	2.205	4 de 630
15.000-45	2.240	4 de 630

Tabla 46. Potencia total y centros de transformación

#### a.1.8.3 Red de baja tensión (BT)

De la misma manera que en el apartado anterior hemos recogido los datos de la potencia en kW necesarios para poder calcular los centros de transformación, de manera que la planta desalinizadora puesta entrar en funcionamiento, justificamos ahora los conductores en baja tensión que van desde el centro de transformación hasta la puerta de la planta, es decir hasta la caja general de protección.

Estos cálculos los hemos realizado teniendo en cuenta la intensidad máxima admisible de cada conductor y la caída de tensión. Aportamos las expresiones matemáticas para el cálculo de los mismos y la tabla de resultados.

LÍNEAS TRIFÁSICAS
$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \phi}$
$e\% = \frac{100 \times P \times L}{K \times U^2 \times S}$

LÍNEAS MONOFÁSICAS
$I = \frac{P}{U \times \cos \phi}$
$e\% = \frac{200 \times P \times L}{K \times U^2 \times S}$

siendo:

P = Potencia (W)

I = Intensidad (A)

e (%) = Caída de tensión porcentual

L = Longitud (m)

K = Resistividad del cobre = 56

U = Tensión (V)

S = Sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	P. bombas total (kW)	Conductores de Cu (mm <sup>2</sup> )
500-42	83	4x95
500-45	88,2	4x95
1.000-42	162	4x150
1.000-45	164,5	4x150
2.000-42	315	4x300
2.000-45	326,5	4x300
5.000-42	751,5	3(4x240)
5.000-45	764,5	3(4x240)
7.500-42	1.107	4(4x240)
7.500-45	1.129,5	4(4x240)
10.000-42	1.473,5	6(4x240)
10.000-45	1.501,5	6(4x240)
12.000-42	1.762,5	8(4x240)
12.000-45	1.790	8(4x240)
15.000-42	2.205	10(4x240)
15.000-45	2.240	10(4x240)

Tabla 47. Justificación de los conductores de cobre Cu

#### a.1.8.4 Caja general de protección (CGP) e instalación interior

Por último para finalizar el apartado de instalación eléctrica, nos faltaría por dimensionar la parte correspondiente a la caja general de protección y la instalación interior. Para dimensionar la misma nos hemos basado en la superficie de construcción de cada caso, adoptando valores aproximados reales, según el mercado, y en el coste de dichas instalaciones facilitado por los mismos propietarios de las plantas para situaciones similares. Presentamos la siguiente tabla de superficies y costes de mercado.

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	Superficie m <sup>2</sup>	Coste aprox. (€)
500-42	100 (10x10)	10.000
500-45	100 (10x10)	10.000
1.000-42	200 (10x20)	20.000
1.000-45	200 (10x20)	20.000
2.000-42	400 (20x20)	40.000
2.000-45	400 (20x20)	40.000
5.000-42	1.000 (40x25)	100.000
5.000-45	1.000 (40x25)	100.000
7.500-42	1.500 (50x30)	150.000
7.500-45	1.500 (50x30)	150.000
10.000-42	2.000 (50x40)	200.000
10.000-45	2.000 (50x40)	200.000
12.000-42	2.400 (50x48)	240.000
12.000-45	2.400 (50x48)	240.000
15.000-42	3.000 (50x60)	300.000
15.000-45	3.000 (50x60)	300.000

Tabla 48. Justificación de la instalación eléctrica interior

### Etapa 9. Bombeo de agua potable a los consumidores

Una vez que se ha producido en la planta desalinizadora el agua potable, queda la etapa de enviarla o bombearla a los consumidores. En esta etapa hay dos partes bien diferenciadas que describimos a continuación.

#### a.1.9.1 Tubería de impulsión

El agua que tenemos que transportar a los consumidores es el caudal bruto que nuestra planta dice que produce, sin aplicarle en este caso el factor de conversión, puesto que el agua que transportamos es ya agua tratada. Por tanto la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$Q_{\text{permeado}} = Q_{\text{bruto}}(\text{m}^3/\text{día})/24\text{h}$$

donde lo que obtenemos es el caudal en m<sup>3</sup>/h.

El diámetro de la tubería se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$v = \frac{Q_p}{S} = \frac{Q_p}{\pi \cdot r^2} = \frac{Q_p}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot \phi^2} \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot v \cdot 3600}} \cdot 1000$$

donde la velocidad de impulsión del agua puede oscilar entre 0,4 y 1,2 m/s, pero se recomienda que el valor sea de 1m/s para así garantizar el correcto funcionamiento del diseño. En base a lo anterior presentamos la tabla siguiente.

DIAMETRO TUBERÍA DE IMPULSIÓN CONSUMIDORES					
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	Ø (mm)	Ø NORM. (mm)
500	42	20,83	1,00	86,20	100
	45	20,83	1,00	86,20	100
1.000	42	41,67	1,00	121,91	160
	45	41,67	1,00	121,91	160
2.000	42	83,33	1,00	172,41	200
	45	83,33	1,00	172,41	200
5.000	42	208,33	1,00	272,60	300
	45	208,33	1,00	272,60	300
7.500	42	312,50	1,00	332,80	400
	45	312,50	1,00	332,80	400
10.000	42	416,67	1,00	385,51	400
	45	416,67	1,00	385,51	400
12.000	42	500,00	1,00	420,63	600
	45	500,00	1,00	420,63	600
15.000	42	625,00	1,00	470,28	600
	45	625,00	1,00	470,28	600

Tabla 49. Diámetros de la tubería de impulsión a consumidores

## a.1.9.2 Bomba de impulsión

Justificamos ahora la bomba necesaria para impulsar el agua a través de las tuberías hasta los puntos de consumo. Para ello procederemos a realizar los cálculos de la misma manera que se hizo con la electrobomba sumergible.

En este caso, las pérdidas de carga por fricción son de 0,01 m.c.a. por cada metro de recorrido horizontal para este tipo de tuberías. Hemos calculado las pérdidas en base a un rango que oscila entre los 500 y 2.000 metros de canalización horizontal. Para nuestra T.D. hemos considerado adecuada una altura de bombeo de agua de 25 metros.

Una vez aclarado esto, presentamos la siguiente tabla donde se podrán observar los valores de las potencias de las bombas:

POTENCIA DE LA BOMBA DE IMPULSIÓN (CONSUMIDORES)									
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Q <sub>p</sub> (l/min)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	h (m.c.a.)	p (m.c.a.)	H (m.c.a.)	η	P (CV)	POT (kW)
500	42	347,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	5,42	3,99
	45	347,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	5,42	3,99
1.000	42	694,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	10,84	7,97
	45	694,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	10,84	7,97
2.000	42	1.388,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	21,69	15,94
	45	1.388,00	1,025	25,00	10,00	45,00	0,80	21,69	15,94
5.000	42	3.472,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	60,28	44,30
	45	3.472,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	60,28	44,30
7.500	42	5.208,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	90,42	66,46
	45	5.208,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	90,42	66,46
10.000	42	6.944,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	120,56	88,61
	45	6.944,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	120,56	88,61
12.000	42	8.333,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	144,67	106,33
	45	8.333,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	144,67	106,33
15.000	42	10.416,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	180,83	132,91
	45	10.416,00	1,025	25,00	15,00	50,00	0,80	180,83	132,91

Tabla 50. Potencias de las bombas de impulsión a consumidores

## Etapa 10. Terrenos, obra civil, proyectos y licencias

El último apartado que calculamos dentro de lo que es inversión, es el relacionado con la compra de terrenos y la obra civil, es decir, la realización de las infraestructuras necesarias para poder ubicar a posteriori toda la maquinaria del proceso de la O.I., la realización de los proyectos y las tasas para obtener las licencias preceptivas. Si bien hay que hacer notar que aunque lo hayamos descrito en la última parte de este capítulo, a la hora de realizar la planta desalinizadora, es lo primero que hay que poseer. Abordamos a continuación cada unas de estas etapas.

### a.1.10.1 Terrenos

Lo primero que tenemos que calcular es la superficie necesaria para la ubicación de la totalidad de la maquinaria y demás equipamiento en cada una de las diferentes opciones que presentamos de plantas desalinizadoras. Hemos visto para cada caso el espacio que se ocupa, dejando determinados espacios para la movilización del personal. En función de esto adjuntamos a continuación una tabla con las superficies necesarias.

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	Superficie m <sup>2</sup>
500-42	100 (10x10)
500-45	100 (10x10)
1.000-42	200 (10x20)
1.000-45	200 (10x20)
2.000-42	400 (20x20)
2.000-45	400 (20x20)
5.000-42	1.000 (40x25)
5.000-45	1.000 (40x25)
7.500-42	1.500 (50x30)
7.500-45	1.500 (50x30)
10.000-42	2.000 (50x40)
10.000-45	2.000 (50x40)
12.000-42	2.400 (50x48)
12.000-45	2.400 (50x48)
15.000-42	3.000 (50x60)
15.000-45	3.000 (50x60)

Tabla 51. Superficies de las parcelas

Una vez que sabemos que superficie se necesita, hemos sondeado la compra de terrenos en diferentes zonas costeras de las Islas Canarias, observando que el precio de este tipo de terrenos, si bien escaso, está alrededor de los 150 €/m<sup>2</sup>.

## a.1.10.2 Obra civil

Para la obra civil, hemos partido de los datos del apartado anterior que corresponde a las superficies de cada una de las plantas. El primer dato es que la altura necesaria máxima la situamos en los 8 metros, y a partir de ahí obtenemos las longitudes correspondientes al largo y al ancho. Adjuntamos la tabla con estas medidas y el volumen correspondiente que se necesita para cada caso.

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	Superficie m <sup>2</sup>	h (m)	l (m)	a (m)
500-42	100 (10x10)	8	10	10
500-45	100 (10x10)	8	10	10
1.000-42	200 (10x20)	8	10	20
1.000-45	200 (10x20)	8	10	20
2.000-42	400 (20x20)	8	20	20
2.000-45	400 (20x20)	8	20	20
5.000-42	1.000 (40x25)	8	40	25
5.000-45	1.000 (40x25)	8	40	25
7.500-42	1.500 (50x30)	8	50	30
7.500-45	1.500 (50x30)	8	50	30
10.000-42	2.000 (50x40)	8	50	40
10.000-45	2.000 (50x40)	8	50	40
12.000-42	2.400 (50x48)	8	50	48
12.000-45	2.400 (50x48)	8	50	48
15.000-42	3.000 (50x60)	8	60	50
15.000-45	3.000 (50x60)	8	60	50

Tabla 52. Dimensiones de la planta

Una vez que se ha calculado el volumen y los datos de las longitudes correspondientes a la altura el ancho y el largo, vamos a calcular el volumen total de hormigón que se necesita en cada caso, para que en el apartado de resultados y gráficas podamos obtener el coste para el caso más desfavorable, construcción de hormigón, en función de lo que cuesta un 1 m<sup>3</sup> de hormigón armado.

Para ello calcularemos dos volúmenes que sumaremos posteriormente, que son el correspondiente a la base y el correspondiente a los laterales.

El volumen de la base será el largo por el ancho por el espesor, que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{base}} = l \cdot a \cdot \text{espesor}(0,4)$$

El volumen correspondiente a los laterales será la altura por el lado más grande por 4 lados y por el espesor que es de 0,4 m. Lo calcularemos en base a:

$$V_{\text{lateral}} = 4 \cdot h \cdot \text{lado}(\text{grande}) \cdot \text{espesor}(0,4)$$

De acuerdo a lo anterior presentamos la tabla con los volúmenes correspondientes y necesarios en cada caso.

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	V <sub>base</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>lateral</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>total</sub> (m <sup>3</sup> )
500-42	80	80	160
500-45	80	80	160
1.000-42	160	160	320
1.000-45	160	160	320
2.000-42	320	160	480
2.000-45	320	160	480
5.000-42	800	320	1.120
5.000-45	800	320	1.120
7.500-42	1.200	400	1.600
7.500-45	1.200	400	1.600
10.000-42	1.600	400	2.000
10.000-45	1.600	400	2.000
12.000-42	1.920	400	2.320
12.000-45	1.920	400	2.320
15.000-42	2.400	480	2.880
15.000-45	2.400	480	2.880

Tabla 53. Volúmenes de hormigón

Al igual que en los casos anteriores, la situación del mercado laboral nos informa que el coste del hormigón armado está alrededor de los 196 €/m<sup>3</sup>, valor que tendremos en cuenta para el apartado de resultados y análisis de los mismos.

#### a.1.10.3 Proyectos y licencias

Con respecto al coste sobre los proyectos y las licencias, hemos detectado que en los dos casos se calculan de la misma manera, es decir, adoptando desde el inicio un % del coste total de la inversión.

En nuestro caso el valor está en torno al 3% para cada uno de los apartados mencionados con anterioridad, esto es:

- a) Proyectos, 3% del valor total de la inversión.

- b) Licencias, 3% del valor total de la inversión.

En el apartado de resultados observaremos el coste real de cada uno de estas partidas y el valor que representan en el coste total de inversión.

#### **7.4.1.2 Coste de Amortización del capital inicial**

Una vez que se ha investigado minuciosamente y con detalle el coste de inversión, podemos pasar a comentar cómo podemos hacer frente a la amortización de dicho capital.

Es evidente, que si se dispone del capital necesario para poder realizar la planta desalinizadora, nos habremos quitado de encima un coste muy importante, y desde el primer momento contaremos con un menor gasto que como veremos es de los más importantes. En caso contrario de no disponer de capital inicial tendremos que recurrir a las entidades bancarias para poder obtener el préstamo necesario para la realización de la citada planta desalinizadora. A día de hoy hemos realizado las averiguaciones pertinentes en determinadas entidades bancarias, comentando la idea y haciendo referencia a determinados capitales a prestar. El resultado de estas conversaciones nos lleva a explicar en este apartado las condiciones impuestas por las entidades bancarias.

- a) Préstamo a 15 años.
- b) Interés del 4.5%.
- c) Periodicidad mensual.
- d) Importe pedido de 1.000.000 €.
- e) Fecha de inicio, año 2013.
- f) Fecha de finalización, año 2028.

En función de esto, y habiendo consultado con anterioridad a las entidades bancarias, para cada uno de los valores correspondientes a las inversiones necesarias, interpolaremos o extrapolaremos según el caso.

Se observará en el apartado de resultados los valores de las cantidades que se tienen que amortizar, así como, la repercusión que tiene en el coste del m<sup>3</sup> de agua desalinizada.

#### **7.4.2 Costes de Operación o Explotación**

### 7.4.2.1 Coste de Consumo de Reactivos

Estudiamos a continuación el coste que viene determinado por el consumo de reactivos necesarios en el pretratamiento y en el postratamiento.

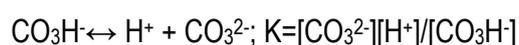
Como sabemos, toda planta desalinizadora de O.I. necesita los reactivos químicos para acondicionar el agua captada mediante los pretratamientos y mejorar la calidad del agua producto mediante los postratamiento.

Los reactivos químicos que se utilizan son los siguientes:

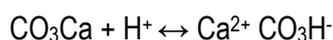
- a) Para el acondicionamiento del agua de alimentación: ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), hipoclorito sódico ( $NaOCl$ ), coagulantes ( $FeCl_3$ ), dispersantes o antiincrustantes, hexametáfosfato sódico ( $Na_6P_6O_{21}$ ) y bisulfito sódico ( $NaHSO_3$ ).
- b) Para el acondicionamiento del permeado: hidróxido cálcico ( $Ca(OH)_2$ ), anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) e hipoclorito sódico ( $NaOCl$ ).

Como se observa en la analítica que presentamos en el apartado correspondiente al agua, los análisis demuestran que el agua de mar tiene gran cantidad de carbonatos y bicarbonatos, así como un pH en torno a 8.

Langelier estudió una fórmula para calcular el pH de saturación,  $pH_s$ , mediante la cual los carbonatos no se depositarían ni se disolverían.



Cuando se llega al equilibrio de la solubilidad,



La constante de equilibrio será:

$$K_{eq} = \frac{[Ca^{2+}][CO_3H]}{[H^+]} = K_{sp}/K$$

Ordenando la anterior ecuación tenemos:

$$[H^+] = [Ca^{2+}][CO_3H^-] * K / K_{sp}$$

De esta última ecuación deducimos que el  $pH_s$  será:

$$pH_s = \log K_{sp} / K - \log [Ca^{2+}] - \log [CO_3H^-]$$

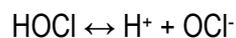
$$LSI = pH_c - pH_s$$

Para el cálculo del LSI empleamos el ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , que ayuda a regular el pH y controla los carbonatos y bicarbonatos que pueda tener el agua de alimentación.

Para el caso del hipoclorito sódico,  $NaOCl$ , que actúa como desinfectante del agua ocurre lo siguiente:



El  $HOCl$  en agua se disuelve según:



Para un valor de pH de 7,8 tenemos unos valores de TDS de 38.080 mg/l. Para los valores del pH del agua potable de 7 obtenemos unos TDS sobre los 300 mg/l.

En la práctica, los valores de este reactivo están entre los 2 y los 6 mg/l para poder desinfectar con garantías el agua.

Para el caso del bisulfito sódico,  $\text{NaHSO}_3$ , que como sabemos entre otras cosas elimina o neutraliza el cloro residual, ocurre lo siguiente:

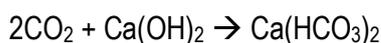


En la práctica, con valores que oscilan entre 2 y 7 mg/l se neutraliza dicho cloro libre.

En función de las características del agua de mar, es indispensable el añadir un coagulante, que por lo general, es el cloruro férrico,  $\text{FeCl}_3$ , según las dosis aportadas en las tablas siguientes, cuya acción va dirigida a formar microfloculos que serán retenidos en los filtros.

Por último añadimos dispersantes como el hexametáfosfato sódico,  $(\text{NaPO}_3)_6$ , cuya misión es la de evitar y controlar la precipitación de determinadas sales.

En el proceso del postratamiento, lo que se realiza es una remineralización del agua, de manera que la misma sea apta para el consumo humano. Dicha remineralización pasa por calcificar el agua mediante  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y a continuación un segundo paso que es añadir  $\text{CO}_2$  para su posterior carbonatación. Evidentemente acorde a la siguiente reacción:



A continuación veremos en las tablas que el consumo de reactivos es proporcional a la producción de agua, por lo que el coste por cada metro cúbico es independiente del tamaño de la planta. Sin embargo, el número de productos empleados y sus respectivas dosificaciones varían en función de dos factores, a tener en cuenta:

- a) Características del agua a tratar.
- b) Forma en la que trabaja la planta.

La metodología a emplear en el caso de los reactivos para calcular su coste se basa en un primer cálculo de las dosificaciones medias y coste por kilo de cada reactivo, un segundo cálculo en el cual obtenemos las cantidades necesarias de cada producto y por último realizamos el análisis inicial del coste en €/m<sup>3</sup>.

En primer lugar observamos la tabla que nos muestra las dosificación media en mg/l de cada uno de los reactivos químicos y su precio en €/kg.

REACTIVOS QUÍMICOS EN PRETRATAMIENTO	mg/l	Valor medio mg/l	Coste €/kg
Acido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	20 a 30	25	0,13
Cloruro Férrico-Coagulante (Cl <sub>3</sub> Fe)	3 a 7	5	0,24
Hipoclorito sódico (NaOCl)	2 a 6	4	0,19
Bisulfito sódico (NaHSO <sub>3</sub> )	2 a 7	4,5	0,6
Hexametáfosfato sódico-dispersante (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	3 a 6	4,5	0,45
REACTIVOS QUÍMICOS EN POSTRATAMIENTO	mg/l	Valor medio mg/l	Coste €/kg
Hipoclorito sódico (NaOCl)	0,4 a 0,6	0,5	0,19
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30 a 40	35	0,14
Cal Ca(OH) <sub>2</sub>	22 a 42	32	0,05

Tabla 54. Dosificaciones de los reactivos y costes de los mismos.

En segundo lugar, presentamos la tabla donde se detalla la cantidad, expresa en kg, de cada uno de los reactivos químicos al año. Para dicho cálculo hemos utilizado la expresión matemática siguiente, con una funcionalidad de la planta desalinizadora del 97,5% del año, es decir 356 días. En dicha expresión Q será el caudal de alimentación cuando calculemos los reactivos correspondientes al pretratamiento y será el caudal de permeado cuando hablemos de postratamiento.

$$\text{Cantidad (kg/año)} = \text{Valor medio (mg/l)} \cdot 10^{-3} \cdot Q(\text{m}^3/\text{día}) \cdot 356\text{días}$$

Es básico comentar, que para calcular las cantidades anuales, hemos escogido los valores medios y se ha multiplicado por las cantidades anuales, mencionando que para el caso del postratamiento no interviene el factor de conversión, puesto que el agua producto se trata en su totalidad.

Cantidades en kg/año de cada producto									
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	PRE TRATAMIENTO					POST TRATAMIENTO		
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	FeCl <sub>3</sub>	NaOCl	NaHSO <sub>3</sub>	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	NaOCl	CO <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>
500	42	10.595,24	2.119,05	1.695,24	1.907,14	1.907,14	89,00	6.230,00	5.696,00
500	45	9.888,89	1.977,78	1.582,22	1.780,00	1.780,00	89,00	6.230,00	5.696,00
1.000	42	21.190,48	4.238,10	3.390,48	3.814,29	3.814,29	178,00	12.460,00	11.392,00
1.000	45	19.777,78	3.955,56	3.164,44	3.560,00	3.560,00	178,00	12.460,00	11.392,00
2.000	42	42.380,95	8.476,19	6.780,95	7.628,57	7.628,57	356,00	24.920,00	22.784,00
2.000	45	39.555,56	7.911,11	6.328,89	7.120,00	7.120,00	356,00	24.920,00	22.784,00
5.000	42	105.952,38	21.190,48	16.952,38	19.071,43	19.071,43	890,00	62.300,00	56.960,00
5.000	45	98.888,89	19.777,78	15.822,22	17.800,00	17.800,00	890,00	62.300,00	56.960,00
7.500	42	158.928,57	31.785,71	25.428,57	28.607,14	28.607,14	1.335,00	93.450,00	85.440,00
7.500	45	148.333,33	29.666,67	23.733,33	26.700,00	26.700,00	1.335,00	93.450,00	85.440,00
10.000	42	211.904,76	42.380,95	33.904,76	38.142,86	38.142,86	1.780,00	124.600,00	113.920,00
10.000	45	197.777,78	39.555,56	31.644,44	35.600,00	35.600,00	1.780,00	124.600,00	113.920,00
12.000	42	254.285,71	50.857,14	40.685,71	45.771,43	45.771,43	2.136,00	149.520,00	136.704,00
12.000	45	237.333,33	47.466,67	37.973,33	42.720,00	42.720,00	2.136,00	149.520,00	136.704,00
15.000	42	317.857,14	63.571,43	50.857,14	57.214,29	57.214,29	2.670,00	186.900,00	170.880,00
15.000	45	296.666,67	59.333,33	47.466,67	53.400,00	53.400,00	2.670,00	186.900,00	170.880,00

Tabla 55. Cantidades totales de reactivos.

En base a lo anterior, se mostrará el coste de cada uno de los reactivos químicos por cada m<sup>3</sup> y el total de cada una de las combinaciones caudal - factor de conversión. Es importante comentar que en este caso Q (m<sup>3</sup>/día) corresponde al valor de la producción total en el año entero, que corresponderá a los valores de Q dentro del rango seleccionado. Para dicho coste, nos ayudaremos de la siguiente expresión matemática:

$$\text{Coste (€/m}^3\text{)} = \text{Cantidad (kg/año)} \cdot \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot \frac{1\text{año}}{365\text{días}} \cdot \frac{1\text{día}}{\text{Qm}^3}$$

Coste del consumo de reactivos (€/m <sup>3</sup> )										
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	PRE TRATAMIENTO					POST TRATAMIENTO			TOTAL
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	FeCl <sub>3</sub>	NaOCl	NaHSO <sub>3</sub>	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	NaOCl	CO <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	
500	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
500	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
1.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
1.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
2.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
2.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
5.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
5.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
7.500	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
7.500	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
10.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
10.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
12.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
12.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867
15.000	42	0,00774	0,00286	0,00181	0,00643	0,00482	0,00010	0,00490	0,00160	0,03025
15.000	45	0,00722	0,00267	0,00169	0,00600	0,00450	0,00010	0,00490	0,00160	0,02867

Tabla 56. Análisis inicial básico del coste de reactivos

Observaremos en el apartado de resultados como afecta la economía de escala a los mismos.

#### 7.4.2.2 Coste de Reposición de Filtros de Cartucho

En este apartado vamos a estudiar el coste que viene determinado por la reposición de los filtros de cartucho. Como se comentó en el apartado 2.5, el tipo de cartucho y las dimensiones del mismo son variables como consecuencia de que en el mercado existe una gran variedad de los mismos. Nosotros a la hora de elegir el cartucho nos hemos basado en cartuchos filtrantes básicos de la marca CUNO, cuyos cartuchos principales son de 1.250 mm de longitud que a su vez son capaces de alojar en su interior 5 cartuchos elementales de 250 mm de longitud.

Sí queremos hacer notar que para todos los casos, se ha de considerar 2 reposiciones al año como consecuencia de que la vida media de los mismos está en torno a los 6 meses.

A continuación vamos a explicar paso a paso la metodología empleada en dicho coste y las expresiones matemáticas utilizadas en la misma.

En primer lugar, calculamos el caudal de agua de alimentación que es el que se obtiene en función del caudal inicial de producción de la planta,  $Q$  en  $m^3/día$ , y el factor de conversión, todo ello pasado a la unidad de  $m^3/h$ . Lo anterior responde a la siguiente expresión básica que mostramos a continuación:

$$Q_{\text{alimentación}} (m^3/h) = \frac{Q_{\text{bruto}} \left( \frac{m^3}{día} \right) \cdot \frac{1día}{24h}}{\frac{F.C.}{100}}$$

Donde:

$Q_a$  es el caudal de alimentación en  $m^3/h$

$Q_{\text{bruto}}$  es el caudal de producción de la planta en  $m^3/día$

F.C. es el factor de conversión utilizado

Una vez definido el caudal  $Q_a$  con el que vamos a trabajar, establecemos el caudal normal de operación, factor de diseño dado por el modelo de cartucho, por cada cartucho elemental de 250 mm que corresponde a 10 l/min.

Dicho caudal normal de operación en las unidades adecuadas toma el valor siguiente:

$$10 \text{ l/min} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1/60} = 0,6 m^3/h$$

Como comentamos anteriormente, un filtro de cartucho está subdividido por 5 cartuchos elementales. El cartucho principal mide 1.250mm y dentro existen 5 cartuchos elementales de 250mm cada uno.

En base a esto último, para el cálculo del número de filtros de cartuchos de 1.250mm, debemos aplicar la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de filtros de cartucho} = \frac{Q_a}{0,6} \cdot \frac{1}{5}$$

Una vez que hemos calculado el número de filtros de cartucho pasamos a través de la siguiente expresión matemática a calcular el coste de reposición de filtros de cartucho, basado en un precio medio de 12 € el filtro de cartucho, consultado en las Islas Canarias y expresado en c€/m<sup>3</sup>. El valor de Q (m<sup>3</sup>/día) representa en este caso el valor de la producción para las combinaciones investigadas.

$$\text{Coste}_{\text{filtro}} = 100 * \text{N}^{\circ} \text{ de cartuchos} * \text{Precio} (\text{€/cartucho}) * 2^{\text{rep/año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{Q (\text{m}^3)}$$

En función de todo lo anterior presentamos la tabla 57, que nos muestra todos los cálculos realizados hasta ahora para poder obtener un análisis inicial básico del coste de reposición de filtros de cartuchos.

Filtros de cartucho						
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	Q' (m <sup>3</sup> /h)	Nº cartuchos	Coste ud. filtro (€)	2 rep/año (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	49,60	50	17	12	0,23
500	45	46,30	47	16	12	0,22
1.000	42	99,21	100	34	12	0,23
1.000	45	92,59	93	32	12	0,22
2.000	42	198,41	199	68	12	0,23
2.000	45	185,19	186	64	12	0,22
5.000	42	496,03	496	170	12	0,23
5.000	45	462,96	463	160	12	0,22
7.500	42	744,05	745	255	12	0,23
7.500	45	694,44	695	240	12	0,22
10.000	42	992,06	993	340	12	0,23
10.000	45	925,93	926	320	12	0,22
12.000	42	1.190,48	1.191	408	12	0,23
12.000	45	1.111,11	1.112	384	12	0,22
15.000	42	1.488,10	1.489	510	12	0,23
15.000	45	1.388,89	1.389	480	12	0,22

Tabla 57. Análisis inicial básico del coste de reposición de filtros de cartucho

Explicamos a continuación cada columna de la tabla anterior, analizando la misma.

La primera y la segunda columna responden a los valores de producción de la planta, de 500 a 15.000 m<sup>3</sup>/día y a los valores del factor de conversión, que corresponden al 42 y 45%.

La tercera y la cuarta columna corresponden a los valores de  $Q'$  calculado y a sus valores redondeados siempre por encima.

A continuación, la columna quinta nos calcula el número de filtros de cartucho que corresponde a cada caso, en función de  $Q'$  y la velocidad de diseño del cartucho.

La columna sexta nos indica el valor del filtro de cartucho y por último, la columna séptima nos muestra el coste de reposición de filtros de cartucho con 2 reposiciones al año.

Evidentemente, esta tabla, es un análisis del coste de reposición de filtros de cartucho, en el cual vemos que los valores se mantienen fijos para 42% y para 45%. Observaremos en el apartado de resultados como afecta la economía de escala a los mismos.

### 7.4.2.3 Coste de Reposición de Membranas

En este apartado estudiaremos cuánto nos va a costar la reposición de las membranas en cada una de las combinaciones caudal–factor de conversión asociado al número de membranas que inicialmente se han colocado en la planta desalinizadora.

Para la realización de nuestra T.D. hemos elegido al fabricante de membranas DOW, el cual suministra membranas de la marca FILMTEC con las características siguientes:

Membrana tipo:	SW30HR LE-400
Material:	Poliamida aromática (TFC)
Configuración:	Arrollamiento en espiral
Caudal nominal de producción (m <sup>3</sup> /día):	28
Rechazo mínimo de sales:	99,6%
Rechazo de boro:	91%
Presión máxima de operación (bar):	83
Temperatura máxima de operación:	45°C
Tolerancia al cloro libre:	<0.1 ppm
Dimensiones (mm):	1.016x29x201
Superficie activa (m <sup>2</sup> ):	37

Para este coste se ha estimado en todos los casos que el porcentaje de reposición es el 7% de las membranas año.

Para elegir el número de membranas nos hemos basado en la producción nominal de la membrana que como hemos comentado es de 28m<sup>3</sup>/día. Multiplicando esta producción nominal por los dos factores de conversión con los que trabajamos, obtenemos la producción nominal real de cada membrana.

El número correcto de membranas se ha calculado en la etapa 4 del coste de inversión. A estos valores le aplicaremos el porcentaje de reposición, que es del 7% y tendremos por tanto el número de membranas que deseamos reponer. Es importante hacer notar que en la reposición de membranas se ha tenido que redondear siempre hacia la solución más desfavorable y que se ha consultado con el fabricante por si dicha acción de redondeo pudiese en algún momento llevar consigo problemas de funcionamiento o de producción. En función del coste unitario de la membrana, que es de 600 € en las Islas Canarias, de la producción anual y aplicando la siguiente expresión matemática obtenemos el coste de reposición de membranas.

$$\text{Coste}_{\text{membranas}} = 100 * N^{\circ}_{\text{derep.membranas}} * \text{Precio}(\text{€/membrana}) * \frac{1\text{año}}{365\text{días}} * \frac{1\text{día}}{Q(\text{m}^3)}$$

En la siguiente tabla mostraremos cual es la opción escogida en cada caso, con el número de membranas que debemos reponer cada año y el coste inicial de dicha reposición:

REPOSICION DE MEMBRANAS							
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	MEMBRANAS	7% REP.	nº. Mem. Rep.	Coste ud. (€)	Coste Rep. (€)	Coste Rep. (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	48	3,36	4	600	2.400	1,07
	45	40	2,8	3	600	1.800	0,99
1.000	42	88	6,16	7	600	4.200	1,07
	45	80	5,6	6	600	3.600	0,99
2.000	42	176	12,32	13	600	7.800	1,07
	45	160	11,2	12	600	7.200	0,99
5.000	42	424	29,68	30	600	18.000	0,99
	45	400	28	28	600	16.800	0,92
7.500	42	640	44,8	45	600	27.000	0,99
	45	600	42	42	600	25.200	0,92
10.000	42	848	59,36	60	600	36.000	0,99
	45	800	56	56	600	33.600	0,92
12.000	42	1.024	71,68	72	600	43.200	0,99
	45	960	67,2	68	600	40.800	0,92
15.000	42	1.272	89,04	90	600	54.000	0,99
	45	1.192	83,44	84	600	50.400	0,92

Tabla 58. Análisis inicial básico del coste de reposición de membranas.

Evidentemente, esta tabla, es un análisis del coste de reposición de membranas, en el cual vemos que los valores se mantienen bastante estables para el 42% y para 45%. Observaremos en el apartado de resultados como afecta la economía de escala a los mismos.

#### **7.4.2.4 Coste de Personal**

El coste de personal representa la remuneración del esfuerzo humano que se incorpora al proceso de elaboración del producto, o de prestación de servicios.

Sin embargo el coste de personal supone además de lo anterior incurrir en otro tipo de costes que van asociados a los siguientes puntos:

- La contribución de la empresa al mantenimiento del sistema de seguridad social, a los planes de pensiones, mantenimiento de economatos y club social de la empresa, comedores y becas de estudio para los hijos de los trabajadores de la empresa.

- El disfrute de los períodos de descanso por el personal laboral de acuerdo con la legislación vigente (incluidos los convenios colectivos), tales como periodos de vacaciones, días festivos, permisos oficiales, enfermedad, etc.

- Pérdida de productividad ya que se supone que al comienzo de su actividad los trabajadores o empleados rinden menos, procesos de selección del personal, etc.

El personal que es necesario en el mantenimiento de una planta desalinizadora de O.I. depende, evidentemente, de la productividad diaria y del grado de automatización de la misma. Nosotros en nuestra T.D. partimos de la base que la planta desalinizadora no está automatizada, de manera que estudiamos en el coste de personal los casos más desfavorables.

La plantilla de personal en una planta de este tipo se puede dividir en tres categorías:

- Personal de dirección, que corresponde a ingenieros de diferentes cargos como jefes de plantas y de mantenimiento.

- Personal de operación, que corresponde a oficiales de primera y oficiales de segunda.

- Personal de mantenimiento, que corresponde a oficiales de tercera y peones.

Independientemente de lo anterior, calculamos ahora el número mínimo de personas que necesita la planta para ser atendida durante todo el año, es decir, los 365 días del año y las

24 horas del día. Es importante hacer notar en este apartado, que aunque se haya estimado que la planta funcione 356 días al año, el personal está trabajando aunque la planta esté parada esos nueve días.

Este número mínimo de empleados lo calculamos cumpliendo siempre con el Convenio Colectivo del sector “Siderometalurgia en la Provincia de Las Palmas” de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio, firmado el 11 de abril de 2011 en la Provincia de Las Palmas,[158] y el Convenio Colectivo del sector “Siderometalurgia en la Provincia de Santa Cruz de Tenerife” de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio, firmado el 7 de septiembre de 2011 en la Provincia de Santa Cruz de Tenerife,[159].

En base a la cantidad de días que se trabaja semanalmente, teniendo presente que en 7 días de la semana una persona trabaja 5 y que necesitamos diariamente 4 personas para poder atender la jornada de mañana, la jornada de tarde y 2 para la jornada nocturna presentamos la siguiente expresión matemática:

$$\frac{\text{personas que necesitamos diariamente (4)} \cdot \text{Días de la semana (7)}}{\text{Días que trabaja una persona a la semana (5)}} \approx 6 \text{ empleados}$$

Inicialmente observamos que se necesitan 6 personas para atender la planta desalinizadora. En este cálculo básico inicial no se ha contado con las vacaciones, por lo que tenemos que tener en cuenta que según el convenio, los empleados contarán con 48 días de vacaciones, es decir, 30 días de vacaciones naturales y 18 días de descanso como consecuencia del trabajo en días festivos. Por lo tanto necesitaremos más empleados para cubrir las vacaciones y los días de descanso. En base a esto calculamos nuevamente el número de empleados, basándonos en la siguiente expresión matemática:

$$\frac{\text{Días de vacaciones (48)}}{\text{Días del año (365)}} = 0,1315 \Rightarrow 1 - 0,1315 = 0,86$$

$$\frac{\text{Nº mínimo de empleados (6)}}{0,86} = 6,97 \approx 7 \text{ empleados}$$

Por lo tanto, en base a estos cálculos podemos concluir que una planta desalinizadora necesita un mínimo de 7 empleados para poder ser atendida todo el año.

Evidentemente, este séptimo empleado es el encargado de cubrir durante todo el año las vacaciones del resto de los trabajadores.

La planta contará con un mínimo 4 personas de turno para trabajar durante un día, repartidas de la siguiente manera.

Una persona en el turno de mañana que corresponde al horario comprendido entre las 6 y las 14 horas. Una persona en el turno de tarde que corresponde al horario entre las 14 y las 22 horas. Y por último dos personas para el turno de noche, para cumplir con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, que trabajarán en el horario comprendido entre las 22 y las 6 horas.

A continuación, presentamos la distribución y horarios de personal en función de la producción diaria.

### Plantas Desalinizadoras de Ósmosis Inversa de 500, 1.000 y 2.000 m<sup>3</sup>/día

Las plantas de 500, 1.000 y 2.000 m<sup>3</sup>/día de producción tendrán la misma configuración de personal, ya que con un mínimo de 7 personas está perfectamente atendida los 365 días del año. Son pequeñas plantas en las cuales no es necesario contar con personal fijo para los puestos de administrativos, analistas y jefes de mantenimiento y de planta. Estos trabajos administrativos y de análisis por lo general se suelen subcontratar o se le encargan a personal que lo simultanean con otros trabajos de la misma empresa. El personal estará formado por oficiales de 1<sup>a</sup>, oficiales de 3<sup>a</sup> y peones. La distribución de una semana normal de trabajo se presenta en la siguiente tabla:

	500-1.000-2.000 m <sup>3</sup> /día						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Oficial 1 <sup>a</sup>	M	M	M	M	M	L	L
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	T	T	T	T	T
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	M	N	M	M	M
Oficial 3 <sup>a</sup>	N	N	L	L	N	N	N
Oficial 3 <sup>a</sup>	T	T	N	N	N	L	L
Oficial 3 <sup>a</sup>	V	V	V	V	V	V	V
Peón	N	N	N	L	L	N	N

Tabla 59. Distribución semanal de trabajo para una planta de 500-1.000-2.000 m<sup>3</sup>/día

Donde:

M=turno de mañana, horario de (6-14h)

T=turno de tarde, horario de (14-22h)

N=turno de noche, horario de (22-6h)

L=día libre

V=Vacaciones

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 5.000 m<sup>3</sup>/día

En segundo lugar, comentaremos la distribución de personal en una planta cuya producción es de 5.000 m<sup>3</sup>/día. A nivel de personal en el aspecto administrativo y analítico ocurre lo mismo que en las plantas anteriores. Se diferencia de las anteriores en que el mantenimiento de la planta empieza a ser un factor importante en la vida de la misma, razón ésta, por la que se ha sustituido un oficial de 1ª por un jefe de mantenimiento, como consecuencia de lo comentado anteriormente. El personal estará formado por un jefe de mantenimiento, oficiales de 1ª, oficiales de 3ª y peones. La distribución de una semana normal de trabajo se presenta en la siguiente tabla:

	5.000 m <sup>3</sup> /día						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Jefe de M.	M	M	M	M	M	L	L
Oficial 1ª	L	L	T	T	T	T	T
Oficial 1ª	L	L	M	N	M	M	M
Oficial 3ª	N	N	L	L	N	N	N
Oficial 3ª	T	T	N	N	N	L	L
Oficial 3ª	V	V	V	V	V	V	V
Peón	N	N	N	L	L	N	N

Tabla 60. Distribución semanal de trabajo para una planta de 5.000 m<sup>3</sup>/día

Donde:

M=turno de mañana, horario de (6-14h)

T=turno de tarde, horario de (14-22h)

N=turno de noche, horario de (22-6h)

L=día libre

V=Vacaciones

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 7.500 m<sup>3</sup>/día

A continuación, comentaremos la distribución de personal en una planta de 7.500 m<sup>3</sup>/día. Este tipo de plantas ya se encuentra en la zona media de lo que se consideran pequeñas plantas desalinizadoras. Para poder cumplir con el convenio comentado en el inicio de este apartado, la planta contará con 8 trabajadores. Cuenta con la misma configuración que en el caso anterior, pero es necesario añadir un trabajador de categoría analista, debido a que en estas plantas se necesitan hacer muchos más análisis que en los casos anteriores para poder cumplir con el documento perteneciente al Real Decreto 140/2003 [59]. El personal estará formado por un jefe de mantenimiento, un analista, oficiales de 1<sup>a</sup>, oficiales de 3<sup>a</sup> y peones. La distribución de una semana normal de trabajo se presenta en la siguiente tabla:

	7.500 m <sup>3</sup> /día						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Jefe de M.	M	M	M	M	M	L	L
Analista	M	M	M	M	M	L	L
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	T	T	T	T	T
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	M	N	M	M	M
Oficial 3 <sup>a</sup>	N	N	L	L	N	N	N
Oficial 3 <sup>a</sup>	T	T	N	N	N	L	L
Oficial 3 <sup>a</sup>	V	V	V	V	V	V	V
Peón	N	N	N	L	L	N	N

Tabla 61. Distribución semanal de trabajo para una planta de 7.500 m<sup>3</sup>/día

Donde:

M=turno de mañana, horario de (6-14h)

T=turno de tarde, horario de (14-22h)

N=turno de noche, horario de (22-6h)

L=día libre

V=Vacaciones

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 10.000 m<sup>3</sup>/día

Nos centramos ahora en las plantas de 10.000 m<sup>3</sup>/día. En éstas nos encontramos que tienen que contar con 9 empleados para cumplir con el convenio vigente. Esta planta, desde el punto de vista de producción, empieza a tener una entidad propia, en la cual, se necesita de algún técnico que controle tanto el mantenimiento como la planta en sí. El personal por tanto estará formado por un jefe de planta que hace también las veces de controlar el mantenimiento, un analista, un administrativo, puesto que ya el papeleo empieza a ser considerable, oficiales de 1<sup>a</sup>, oficiales de 3<sup>a</sup> y peones. La distribución de una semana normal de trabajo se presenta en la siguiente tabla:

	10.000 m <sup>3</sup> /día						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Jefe de P.	M	M	M	M	M	L	L
Analista	M	M	M	M	M	L	L
Administ.	M	M	M	M	M	L	L
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	T	T	T	T	T
Oficial 1 <sup>a</sup>	L	L	M	N	M	M	M
Oficial 3 <sup>a</sup>	N	N	L	L	N	N	N
Oficial 3 <sup>a</sup>	T	T	N	N	N	L	L
Oficial 3 <sup>a</sup>	V	V	V	V	V	V	V
Peón	N	N	N	L	L	N	N

Tabla 62. Distribución semanal de trabajo para una planta de 10.000 m<sup>3</sup>/día

Donde los turnos, los días libres y vacaciones son idénticas a las anteriores.

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 12.000 y 15.000 m<sup>3</sup>/día

Por último presentamos las plantas de 12.000 y 15000 m<sup>3</sup>/día, en las cuales es necesario contar con 10 empleados. Digamos que dichas plantas empiezan a estar en el margen identificativo de plantas de tamaño medianas. El personal estará formado por un jefe de planta, otro de mantenimiento, un analista, un administrativo, oficiales de 1<sup>a</sup>, oficiales de 3<sup>a</sup> y peones. Por lo que se puede observar, ya separamos lo que es el control de la planta en sí, de la parte de mantenimiento. La distribución de una semana normal de trabajo se presenta en la siguiente tabla:

	12.000–15.000 m <sup>3</sup> /día						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Jefe de P.	M	M	M	M	M	L	L
Jefe de M.	L	M	M	M	M	M	L
Analista	M	M	M	M	M	L	L
Administ.	M	M	M	M	M	L	L
Oficial 1ª	L	L	T	T	T	T	T
Oficial 1ª	L	L	M	N	M	M	M
Oficial 3ª	N	N	L	L	N	N	N
Oficial 3ª	T	T	N	N	N	L	L
Oficial 3ª	V	V	V	V	V	V	V
Peón	N	N	N	L	L	N	N

Tabla 63. Distribución semanal de trabajo para una planta de 12.000-15.000 m<sup>3</sup>/día

Donde:

M=turno de mañana, horario de (6-14h)

T=turno de tarde, horario de (14-22h)

N=turno de noche, horario de (22-6h)

L=día libre

V=Vacaciones

Según los Convenios Colectivos del sector “Siderometalurgia en las Provincias de Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife” de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio, que se encuentra en vigor, [158,159], resuelve que los salarios base para los puestos que hemos mencionado son los presentados en la siguiente tabla:

Puesto de trabajo	Salario Anual (€)	Prima diaria (€)	Total (€)
Jefe de Planta	18.809,43	4,99	20.630,78
Jefe de Mantenimiento	18.809,43	4,99	20.630,78
Analista	15.041,35	3,93	16.475,80
Administrativo	13.855,71	3,56	15.155,11
Oficial de 1ª	14.510,46	3,88	15.926,66
Oficial de 3ª	13.946,33	3,63	15.271,28
Peón	13.569,87	3,47	14.836,42

Tabla 64. Salarios base en función de los distintos puestos, según [158].

Como podemos observar estos salarios son los salarios base que se abona a cualquier trabajador, según su categoría, en el inicio del desempeño de cualquier actividad, y por tanto se puede observar que dichos salarios no corresponden con los salarios del personal con experiencia, factor muy importante en las plantas desalinizadoras. Dichos salarios en el corto plazo no nos van a reflejar la realidad del coste de personal. Como consecuencia de esto, para poder adaptarlos a los salarios reales que sabemos que son los que responden al coste de personal, nosotros hemos analizado los mismos en base a dos factores:

- a) Estos salarios son en base al año de 2009, momento en que se produjo la reducción de sueldo por parte del Gobierno para hacer frente a la grave crisis económica, que aún seguimos viviendo, pero que sabemos que a la hora de trabajar en una planta desalinizadora, como consecuencia de la responsabilidad que conlleva la misma, dichos salarios no se aplican.
- b) No podemos contar con personal sin experiencia, recién titulados, personal que se encuentre en su primer trabajo, sino que entendemos que todos deben contar con un mínimo de 5 años de experiencia en puestos similares en lo que a peones, oficiales, administrativos y analistas se refiere y para poder optar al puesto de jefe de planta deberán contar con 5 años como mínimo de experiencia en el mismo puesto.

En función de lo comentado, hemos entendido razonable, para poder presentar valores reales, el poder investigar en los estamentos pertenecientes a la administración sobre los salarios reales de estos puestos de trabajo, pudiendo observar que estábamos en lo cierto y proporcionándonos la administración los porcentajes de aumento en función de lo comentado con anterioridad. Presentamos a continuación la tabla siguiente que nos muestra los salarios reales con la experiencia que hemos exigido a cada puesto de trabajo en los puntos anteriores:

Puesto de trabajo	Salario base (€)	Porcentaje (€)	Total (€)
Jefe de Planta	20.630,78	45	29.914,63
Jefe de Mantenimiento	20.630,78	18	24.344,32
Analista	16.475,80	18	19.441,44
Administrativo	15.155,11	12	16.973,72
Oficial de 1ª	15.926,66	18	18.793,46
Oficial de 3ª	15.271,28	18	18.020,11
Peón	14.836,42	18	17.506,98

Tabla 65. Salarios modificados en función de la experiencia.

Para la justificación final de dicho coste, se ha contado con un gasto que es aplicado al personal y que es el correspondiente a vestuario. Dicho gasto se ha concretado en un coste de 100 € por persona y año y se mostrará posteriormente.

Por último, vamos a explicar el gasto de personal correspondiente a la nocturnidad y vacaciones. El año consta de 52 semanas y hemos dicho que cada trabajador debido a que trabajan en días festivos tendrá 48 días de vacaciones, lo que implica que son 7 semanas de vacaciones. Dicho esto cada empleado trabaja 45 semanas al año. Según las tablas presentadas vemos como afecta el plus de nocturnidad a cada uno.

Existe un oficial de 1ª que trabaja de noche un día a la semana, luego trabaja 45 días al año en jornada nocturna.

Existe un oficial de 3ª que trabaja de noche los 5 días de la semana, luego es todo el año.

Existe un oficial de 3ª que trabaja de noche 3 días a la semana, luego  $3 \times 45 = 135$  días al año en jornada nocturna.

Existe un peón que trabaja de noche los 5 días de la semana, luego es todo el año.

Existe un oficial de 3ª que cubre la nocturnidad en el período de las vacaciones de todos, lo que implica que son 35 días del oficial de 3ª, 35 días del peón, 7 días del oficial de 1ª y 21 días del oficial de 3ª, lo que suma un total de 98 días.

Evidentemente, el día de trabajo nocturno implica un aumento del 25 % en su salario, lo que nos lleva a aumentar cada salario en lo siguiente:

Oficial de 1ª: 782,48 €

Oficial de 3ª: 4.505,03 €

Oficial de 3ª: 2.078,04 €

Oficial de 3ª: 1.264,90 €

Peón: 4.376,75 €

Aplicándole el salario adecuado y presentado a cada trabajador, podemos calcular en el apartado de resultados, mostrado posteriormente, el coste de la planta debido al factor de personal.

#### 7.4.2.5 Coste de Mantenimiento

Para el coste de mantenimiento de la totalidad de la planta desalinizadora, nos hemos apoyado en el Manual para la implantación de Sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, realizado por el CENTA y el CEDEX conjuntamente [160], del cual recogemos los datos necesarios para la elaboración de dicho coste. Este coste también ha sido elaborado en función de los valores estimados en función de la vida media de cada ítem y los porcentajes de deterioro en función de la inversión inicial. Adjuntamos la tabla básica con los datos necesarios para la elaboración del coste de mantenimiento.

Ítem	Vida Media (años)	(%) de Inversión anual
Recipientes y Tanques	25	0,8
Equipos mecánicos rotativos	17	4,3
Equipos de accionamiento de máquinas	25	1,5
Instrumentación	25	4,5
Tuberías, válvulas y accesorios	25	3,0
Bombas centrífugas	17	4,2
Electricidad	25	4,3
Obra civil	75	0,3

Tabla 66. Mantenimiento. Vida media e inversión anual

En base a la tabla anterior y sabiendo que el límite de funcionamiento que hemos adoptado en la planta desalinizadora es de 15 años, hemos aplicado éstos coeficientes a cada

una de las partidas de inversión a las cuales les afecta el mantenimiento. En base a ello, obtenemos en el apartado de resultados la gráfica correspondiente al coste de mantenimiento.

#### **7.4.2.6 Coste Medioambiental**

El coste medioambiental, es un tipo de coste, resultante del impacto medioambiental que generan las plantas desalinizadoras hacia el mar. Como se sabe, el agua de rechazo o salmuera es vertida al mar tal cual, sin prepararla.

Nosotros en esta T.D. hemos propuesto estudiar este coste, teóricamente nuevo, y basado en reducir el impacto medioambiental que genera en el mar el vertido procedente de la planta desalinizadora.

Dicho coste está basado en mezclar el agua de rechazo con agua de mar mediante la correspondiente tubería y bomba de impulsión, en enviar al mar dicha agua ya mezclada y con características similares al agua de mar y en controlar que dicha agua no tenga partículas en suspensión y su pH sea el adecuado.

Para poder realizar lo anteriormente comentado, en este tipo de coste será necesario el siguiente material:

- a) Tubería de impulsión del agua de mar hasta la tubería del agua de rechazo.
- b) Bomba de impulsión del agua de mar hasta la tubería del agua de rechazo.
- c) Un decantador para la separación de las partículas en suspensión.
- d) Un aparato para medir el valor del pH que tiene el agua que se va a enviar al mar.
- e) Tubería de expulsión del agua de rechazo hacia el mar.

Teóricamente, dicho coste se podría ubicar dentro de los costes de inversión, puesto que hay que incurrir en él desde el inicio. Si bien, hemos considerado que para el funcionamiento de la planta desalinizadora no es básico, sino que aún teniéndolo que realizar desde el inicio dicho coste, interpretamos que es un coste derivado del funcionamiento de la planta, motivo por el cual se ha puesto en este apartado de éstos costes.

En este apartado aportaremos los datos, cálculos y costes necesarios para reducir los impactos negativos comentados anteriormente que produce la planta desalinizadora de agua de mar sobre el medioambiente. Se mostrarán todos los valores para cada una de las combinaciones caudal – factor de conversión.

En este coste nos centramos exclusivamente en el vertido de salmuera y en controlar los reactivos químicos utilizados en la limpieza de los equipos.

Como comentamos, la salmuera es el agua con grandes contenidos de sal, por lo que verterla directamente al mar, puede ser perjudicial para la flora y fauna marina.

La tubería y la bomba, que utilizaremos para impulsar agua de mar hasta la tubería de expulsión, tendrán la mitad del valor nominal que las que utilizaremos para impulsar el agua hasta la planta como consecuencia de que como mucho se convierte el 45%. De esta manera reduciremos el impacto medioambiental. La tubería de expulsión del agua de rechazo será del mismo valor que la tubería de impulsión de agua de mar hasta la planta.

A continuación, mostraremos las fórmulas que hemos utilizado para el cálculo de las tuberías:

$$Q_{\text{alimentación}} (\text{m}^3/\text{h}) = \frac{Q_{\text{bruto}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}{\frac{\text{F.C.}}{100}} \cdot \frac{1\text{día}}{24\text{h}}$$

Donde F.C. es el factor de conversión que puede ser el 42 o el 45%.

$$V = \frac{Q_a}{S} = \frac{Q_a}{\pi \cdot r^2} = \frac{Q_a}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot \phi^2} \Rightarrow \phi = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot v \cdot 3600}} \cdot 1000$$

La velocidad de impulsión del agua puede oscilar entre 0,4 y 1,2 m/s, pero se recomienda que el valor sea de 1m/s para así garantizar el correcto funcionamiento del diseño. Valor adoptado en todos los cálculos de nuestra T.D..

En esta primera tabla mostraremos los valores nominales de la tubería de impulsión de agua de mar que conecta con la tubería de expulsión:

DIAMETRO TUBERÍA DE IMPULSIÓN (medioambiental)				
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	ØEXPULSIÓN (mm)	ØIMP. MED. (mm)	Ø NORM. (mm)
500	42	132,49	66,24	100
	45	127,99	64,00	100
1.000	42	187,36	93,68	100
	45	181,01	90,50	100
2.000	42	264,97	132,49	160
	45	255,99	127,99	160
5.000	42	418,96	209,48	300
	45	404,75	202,38	300
7.500	42	513,11	256,56	300
	45	495,72	247,86	300
10.000	42	592,49	296,25	300
	45	572,40	286,20	300
12.000	42	649,04	324,52	400
	45	627,04	313,52	400
15.000	42	725,65	362,83	400
	45	701,05	350,52	400

Tabla 67. Diámetros de la tubería de impulsión medioambiental

La siguiente tabla, muestra el valor de la tubería de expulsión del agua de rechazo mezclada con el agua de mar que nos trae la tubería de impulsión:

DIAMETRO TUBERÍA DE EXPULSIÓN (medioambiental)					
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	Ø (mm)	Ø NORM. (mm)
500	42	49,60	1,00	132,49	160
	45	46,30	1,00	127,99	160
1.000	42	99,21	1,00	187,36	200
	45	92,59	1,00	181,01	200
2.000	42	198,41	1,00	264,97	300
	45	185,19	1,00	255,99	300
5.000	42	496,03	1,00	418,96	600
	45	462,96	1,00	404,75	600
7.500	42	744,05	1,00	513,11	600
	45	694,44	1,00	495,72	600
10.000	42	992,06	1,00	592,49	600
	45	925,93	1,00	572,40	600
12.000	42	1.190,48	1,00	649,04	800
	45	1.111,11	1,00	627,04	800
15.000	42	1.488,10	1,00	725,65	800
	45	1.388,89	1,00	701,05	800

Tabla 68. Diámetros de la tubería de expulsión medioambiental

Una vez que hemos realizado el cálculo de las tuberías de impulsión y expulsión, procedemos a realizar el cálculo de la bomba de impulsión del agua de mar, que como se comentó tendrá un valor nominal que será la mitad del valor nominal de la bomba de impulsión del agua de mar hasta la planta para el proceso de desalinización. Para ello hemos utilizado la siguiente fórmula:

$$P(\text{CV}) = \frac{1,25 \cdot Q_a \cdot \rho \cdot H}{4500 \cdot \eta}$$

Siendo:

Q<sub>a</sub>: caudal de alimentación en l/min

ρ: densidad el agua=1,025 g/cm<sup>3</sup>

H: Altura total en m.c.a.

η: Rendimiento total del grupo de 0,80

Dado que la presión requerida a la llegada a la planta, es 10 m.c.a., tendremos que:

$$H=10+h+p$$

Siendo:

h: altura manométrica

p: pérdidas en m.c.a.

Las pérdidas de carga por fricción es de 0,020 m.c.a. por cada metro de recorrido horizontal:

$$p = \text{Pérdida} \cdot L \cdot 10$$

Hemos estimado una longitud de 110 metros para extraer el agua de mar desde el sondeo hasta la planta.

Después de explicar todo el procedimiento, en la siguiente tabla se podrán observar los resultados:

POTENCIA DE LA BOMBA DE IMPULSIÓN (medioambiental)										
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (l/min)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	h (m.c.a.)	p (m.c.a.)	H (m.c.a.)	$\eta$	P (CV)	POT (kW)	P <sub>med</sub> (kW)
500	42	826,72	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	13,78	10,13	5,06
	45	771,60	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	12,86	9,45	4,73
1.000	42	1.653,44	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	27,56	20,25	10,13
	45	1.543,21	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	25,72	18,90	9,45
2.000	42	3.306,88	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	55,11	40,51	20,25
	45	3.086,42	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	51,44	37,81	18,90
5.000	42	8.267,20	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	137,79	101,27	50,64
	45	7.716,05	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	128,60	94,52	47,26
7.500	42	12.400,79	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	206,68	151,91	75,95
	45	11.574,07	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	192,90	141,78	70,89
10.000	42	16.534,39	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	275,57	202,55	101,27
	45	15.432,10	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	257,20	189,04	94,52
12.000	42	19.841,27	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	330,69	243,06	121,53
	45	18.518,52	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	308,64	226,85	113,43
15.000	42	24.801,59	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	413,36	303,82	151,91
	45	23.148,15	1,025	25,00	13,00	48,00	0,80	385,80	283,56	141,78

Tabla 69. Potencias de las bombas de impulsión medioambiental

Para controlar los reactivos químicos y las partículas en suspensión que pueda tener el agua de rechazo utilizaremos, como se comentó anteriormente, un controlador de pH y un decantador para las partículas en suspensión.

Con todo esto hemos descrito y analizado la metodología empleado en este coste.

#### **7.4.2.7 Coste del Consumo Energético**

Para finalizar el análisis de los costes que intervienen en las plantas desalinizadoras de O. I., estudiamos el coste del consumo de energía que como veremos posteriormente es el coste o parámetro que más influye en el coste total.

Desde que recogemos el agua de mar y la llevamos a la planta, hasta que la recibe el consumidor en su propia casa, el consumo energético pasa por una serie de fases que las describimos a continuación.

Cada fase será representada por la potencia necesaria generada en su fase en kW y por el consumo generado en la misma en kWh/m<sup>3</sup>.

##### a) Consumo energético correspondiente a la bomba de alimentación

Recogiendo los datos calculados en el coste de inversión, a.1, en la etapa 1, obtenemos la potencia correspondiente a la bomba de impulsión del agua de alimentación. Dicha potencia, multiplicada por las 24 horas y dividida por la producción nos dará el consumo de la fase. Calculamos el mismo en función de la expresión matemática siguiente:

$$\text{Consumo} = P(\text{kW}) \times 24 \text{ horas} / Q(\text{m}^3/\text{día})$$

En función de lo anterior presentamos la siguiente tabla con el consumo energético correspondiente.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	B. Alimentación (kW)	Consumo kWh/m <sup>3</sup>
500-42	10	0,48
500-45	9	0,43
1.000-42	20	0,48
1.000-45	19	0,46
2.000-42	40	0,48
2.000-45	38	0,46
5.000-42	105	0,50
5.000-45	97.5	0,47
7.500-42	156	0,50
7.500-45	146	0,47
10.000-42	209	0,50
10.000-45	195	0,47
12.000-42	250	0,50
12.000-45	234	0,47
15.000-42	313	0,50
15.000-45	292	0,47

Tabla 70. Consumo energético bomba de alimentación

#### b) Consumo energético correspondiente al proceso de la Ósmosis Inversa

Dentro de todas las fases en las cuales existe un consumo energético, la que corresponde al proceso de la ósmosis inversa es la que presenta un consumo mayor. Para el cálculo primero de la bomba de alta presión y la bomba booster y después del consumo de las dos, se han utilizado 2 programas, que en base a ellos y a una serie de pasos en función de las distintas combinaciones obtenemos los valores de las potencias y los consumos para cada una de las posibilidades trabajadas en nuestra T.D.. Pasamos a continuación a describir paso a paso este proceso.

##### b.1) Utilización del programa ROSA

Mediante la utilización del programa ROSA, versión 7.2.1, [161], obtenemos los resultados de presión, salinidad, consumo energético sin ERI... etc, que nos va a permitir definir el punto adecuado para cada producción.

En una primera tabla, introducimos los datos de información, establecemos que vamos a utilizar el CINA como compuesto para realizar el balance analítico y establecemos las unidades en las que vamos a trabajar, m<sup>3</sup>/h para el caudal, bares para la presión y °C para la temperatura. Un ejemplo de lo que estamos comentando lo observamos en la tabla que adjuntamos, en la cual se puede apreciar los datos utilizados.

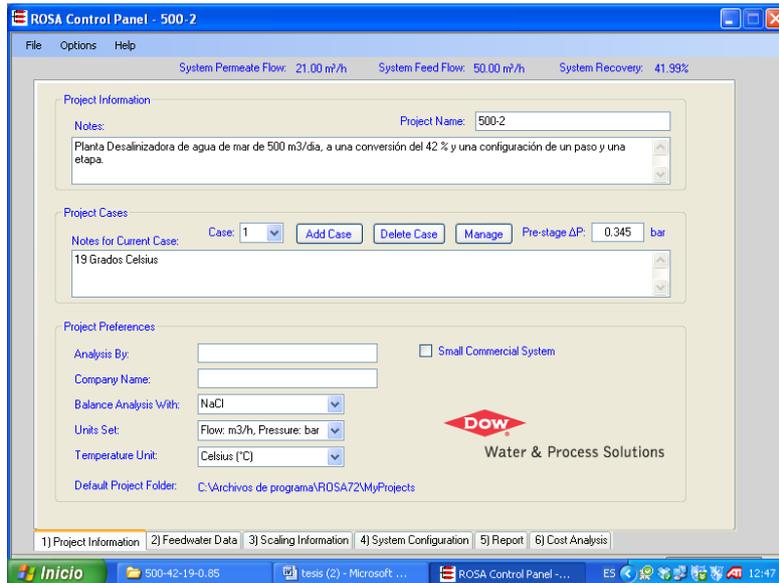


Tabla 71. ROSA. Datos iniciales

A partir de lo anterior se introduce el tipo o modalidad de extracción de agua, es decir, en nuestro caso pozo playero, SDI<3, y la totalidad de los datos característicos que corresponden al agua de alimentación, esto es, los datos aportados del agua de mar mediante su analítica correspondiente. También introducimos los datos correspondientes a la temperatura, que en nuestro caso realizamos 3 combinaciones con 19, 20 y 21°C y el pH cuyo valor es de 8 y por último introducimos que para cualquier ajuste del balance lo realizaremos con cationes. En la siguiente tabla mostramos un ejemplo de los datos introducidos en nuestra T.D..

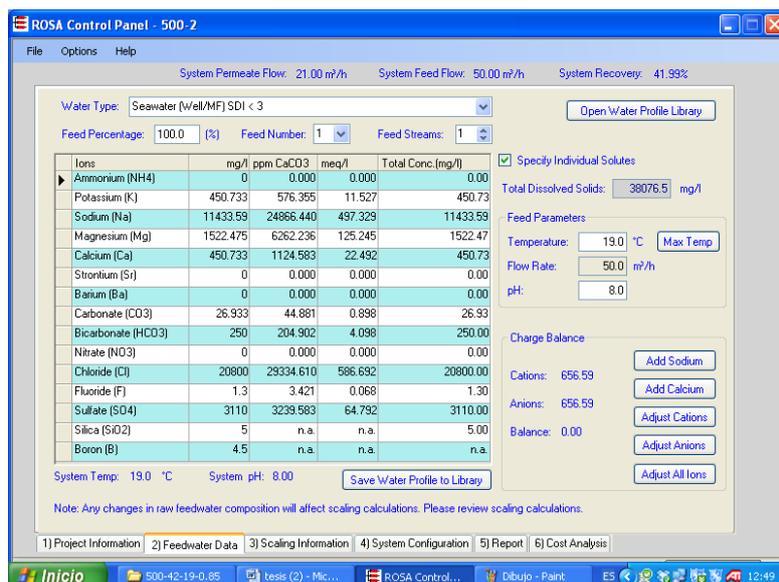


Tabla 72. ROSA. Datos característicos I

A continuación, el programa hace unos pequeños ajustes y nosotros introducimos en él el factor de conversión, que en nuestro caso trabajamos con 42 y 45% de conversión de agua de alimentación a agua producto. Adjuntamos la tabla que nos aparece cuando trabajamos con el programa observando que ya en la parte de arriba, nos muestra el caudal de permeado 21 m<sup>3</sup>/h, el caudal de agua de alimentación 50 m<sup>3</sup>/h y el factor de conversión del 42%.

The screenshot shows the ROSA Control Panel - 500-2 interface. At the top, it displays System Permeate Flow: 21.00 m<sup>3</sup>/h, System Feed Flow: 50.00 m<sup>3</sup>/h, and System Recovery: 41.93%. Below this, there are radio buttons for 'Scaling Calculations Options': 'No chemicals added' (selected), 'User-adjusted pH', and 'Ion-exchange softening'. A warning message states: 'Antiscalants are required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.' A table shows the following data:

	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	8.0	8.0	8.24
LSI	1.216	1.216	1.914
Stiff & Davis Index	0.220	0.220	0.724
TDS (mg/l)	38,077	38,077	65,649
Ionic Strength (molal)	0.794	0.794	1.409
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	250.000	250.000	431.034
CO <sub>2</sub> (mg/l)	1.405	1.405	1.405
CO <sub>3</sub> (mg/l)	26.932	26.932	46.435
CaSO <sub>4</sub> (% Saturation)	23.15	23.15	45.41
BaSO <sub>4</sub> (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO <sub>4</sub> (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF <sub>2</sub> (% Saturation)	101.26	101.26	518.99
SiO <sub>2</sub> (% Saturation)	4.05	4.05	6.05
Mg(OH) <sub>2</sub> (% Saturation)	0.52	0.52	2.67

Other parameters shown include: Ion-exchange Leakage (Ca Leakage: 0.1 mg/L, Mg Leakage: 0 mg/L), Recovery and Temperature (Recovery: 42.02%, Temperature: 19.0 °C), and User-adjusted pH (Dosing Chemical: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH: 8.0, Concentrate S&D: 0.724).

Tabla 73. ROSA. Datos característicos II

La siguiente tabla del programa es aquella en la que nosotros introducimos los parámetros de diseño que son característicos de la planta desalinizadora y que nosotros hemos adoptado para la realización de la T.D. Es decir, hablamos de 1 paso, de 1 etapa, de un fouling factor o factor de ensuciamiento de la membrana que toma valor 1 para la membrana nueva y toma el valor de 0,85 para una membrana de hasta 5 años, del rendimiento de las bombas que en nuestro caso hemos tomado el valor del 80%, del tipo de membrana a utilizar que como se ha comentado anteriormente es SW30HRLE-400, del número de cajas de presión y por último del número de membranas por cada caja, que como novedad, en nuestro caso utilizamos 8 membranas por cada caja de presión. Presentamos la tabla comentada con la totalidad de los parámetros de diseño introducidos a modo de ejemplo.

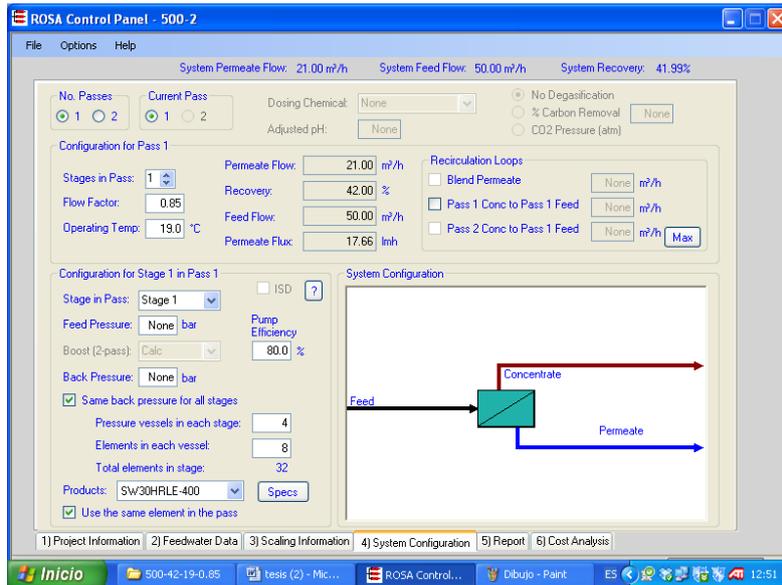


Tabla 74. ROSA. Parámetros de diseño

Una vez introducidos la totalidad de los datos en el programa pasamos a mostrar la tabla de resultados a modo de ejemplo que se obtiene con el mismo, donde podemos observar los resultados de presión del agua de alimentación, del concentrado y la media, la salinidad en TDS del agua de alimentación, del permeado y del concentrado, los consumos energéticos sin ERI y también los errores de diseño en el caso que la combinación de los parámetros no sea la adecuada. Presentamos a continuación la tabla comentada con anterioridad.

**Detail Report**

**Información del Proyecto:** Planta Desalinizadora de agua de mar de 500 m<sup>3</sup>/día, a una conversión del 42 % y una configuración de un paso y una etapa.

**Detalles del Sistema**

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	50.00 m <sup>3</sup> /h	Caudal de Permeado Paso 1	21.00 m <sup>3</sup> /h	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	50.00 m <sup>3</sup> /h	Conversión Paso 1	41.99 %	Alimentación	26.1
Presión de Alimentación	63.19 bar	Temperatura de Alimentación	19.0 C	Concentrado	46.2
Fouling Factor	0.85	STD Alimentación	38076.52 mg/l	Media	36.1
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	32	NDP media	25.3
Área Activa Total	1189.12 M <sup>2</sup>	Flujo específico medio Paso 1	17.66 lmh	Potencia	109.7
Clasificación del Agua: Agua de Mar (Poto/MF) SDI < 3				Energía Específica	5.2

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos presión	Nº Almacenamiento	Caudal de Alimentación (m <sup>3</sup> /h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de concentrado (m <sup>3</sup> /h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m <sup>3</sup> /h)	Flu específico med (lml)
1	SW30HRLE-400	4	8	50.00	62.85	0.00	29.00	59.93	21.00	17.6

Corrientes Paso (mg/l como ión)					
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado
			Etapa 1	Etapa 1	
NH <sub>4</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	450.73	450.73	775.85	1.66	1.66
Na	11433.59	11433.59	19684.77	36.73	36.73
Mg	1522.47	1522.47	2623.01	1.12	1.12

Tabla 75. ROSA. Resultados obtenidos

## b.2) Combinaciones realizadas en programa ROSA para nuestra T.D.

Una vez explicado y comentado cómo se ha utilizado el programa ROSA, pasamos a exponer una tabla que nos refleje la totalidad de las combinaciones que hemos realizado en el programa.

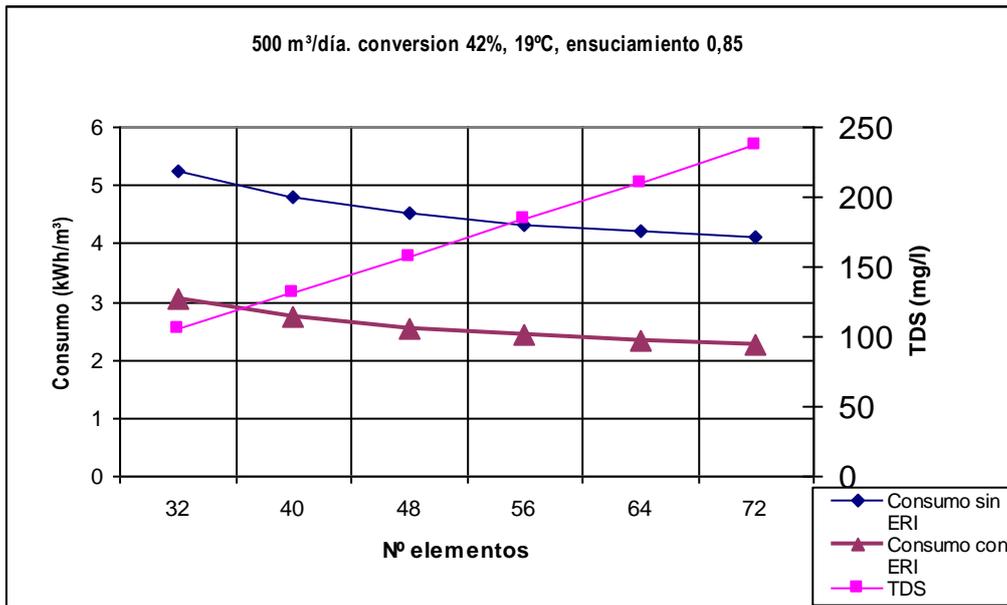
Q(m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Temperatura (°C)	Fouling factor
500	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
1.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
2.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
5.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
7.500	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
10.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
12.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1
15.000	42 y 45	19, 20 y 21	0,85 y 1

Tabla 76. Combinaciones realizadas

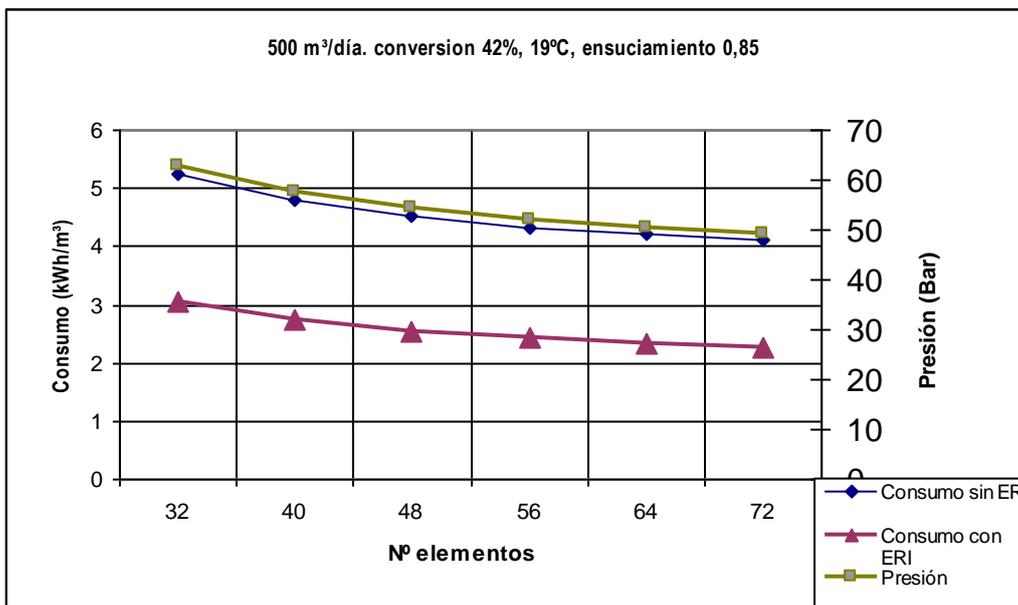
Esto quiere decir que para cada línea de producción, hemos aplicado el factor de conversión del 42 y del 45% y a cada uno de estos casos hemos aplicado las temperaturas de 19, 20 y 21°C y a su vez a cada temperatura hemos aplicado el factor de ensuciamiento de 0,85 y 1. Esto implica que para cada producción tenemos 12 combinaciones, lo que multiplicado por 8 líneas de producción diferentes nos lleva a una totalidad de 96 combinaciones. Cada combinación la hemos conjugado con un número de membranas, 8 por cada caja de presión, obteniendo una serie de posibilidades, una media de 42, dentro de las cuales en torno a 18 son las que corresponde a las diferentes posibilidades que obtenemos en el programa y que han dado respuesta positiva en lo que se refiere a errores de diseño, en las presiones, en los valores de la salinidad, .....etc.

Con todo esto podemos comentar que hemos investigado con  $96 \times 42 = 4.032$  opciones diferentes dentro de las cuales una media de 18 opciones en cuanto al número de membranas en cada combinación son adecuadas, lo que nos da un total aproximado de  $96 \times 18 = 1.728$  opciones estudiadas en la T.D..

De cada una de las 96 combinaciones hemos obtenido los resultados reflejándolos en sus gráficas correspondientes de salinidad TDS y presión frente a consumo energético, sin introducir el sistema de recuperación de energía y con el sistema de recuperación de energía, lo que nos ha llevado a obtener un total de 192 gráficas. Presentamos a modo de ejemplo dos tipos de gráficas para una mejor comprensión de lo comentado anteriormente. En el tomo II de la T.D. se encuentran reflejadas la totalidad de las gráficas.



Grafica 18. Datos correspondientes al consumo eléctrico y salinidad



Grafica 19. Datos correspondientes al consumo eléctrico y presión

Para cada una de las opciones diferentes, que corresponde a un número determinado de elementos o membranas, hemos cogido del programa ROSA, los valores de la presión de alimentación, el incremento de presión en la membrana, que es el aumento entre la presión de alimentación y del concentrado y la salinidad del agua. Con estos datos hemos pasado a trabajar

con la hoja de excel de un determinado fabricante, introduciendo en cada caso un sistema de recuperación de energía.

b.3) Utilización de la hoja de cálculo (excel) del fabricante ERI-PX

Una vez que hemos obtenido los resultados con el programa ROSA, introducimos en nuestra planta desalinizadora un sistema recuperador de energía, que para esta T.D. el sistema elegido es el ERI-PX. Utilizamos su hoja de cálculo (excel) la cual describimos a continuación. En esta hoja de cálculo introducimos los datos del caudal de producción en m<sup>3</sup>/día, el factor de conversión en %, la presión de alimentación en bares, el diferencial de presión en la membrana en bares y la salinidad del agua, así como, el rendimiento de las bombas que como hemos decidido en esta T.D. el valor del rendimiento es siempre del 80%.

Una vez esto, la hoja de excel nos calcula la potencia en kW de la bomba de alta presión y de la booster y el consumo del sistema en kWh/m<sup>3</sup>. Finalmente, dicha hoja de cálculo tiene una opción donde nos deja introducir el valor en kW de la bomba de alimentación, con lo que también calculamos el consumo de la bomba de alimentación en kWh/m<sup>3</sup>. Adjuntamos una tabla donde se puede observar la hoja de excel tipo comentada anteriormente.

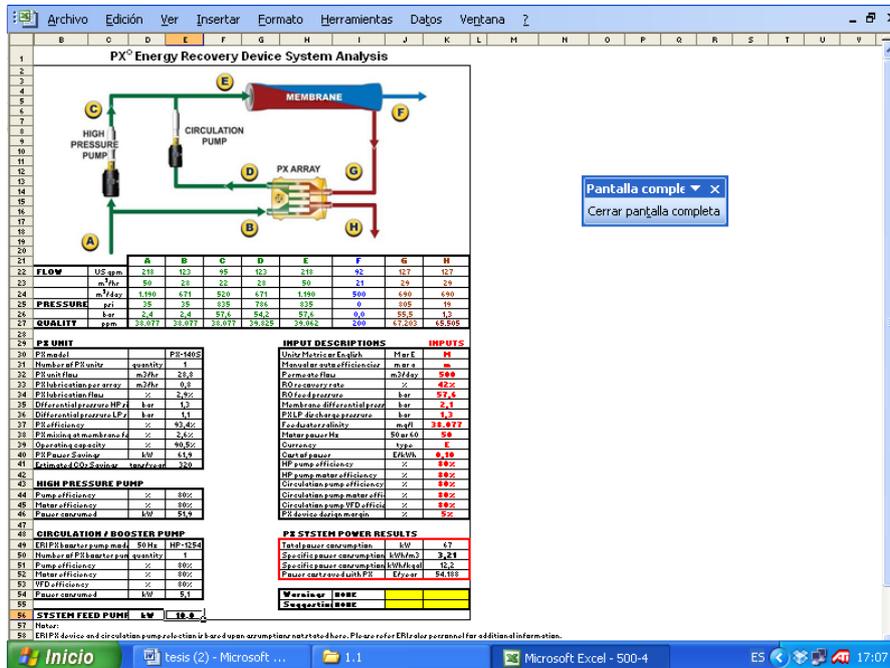


Tabla 77. ERI-PX. Hoja de cálculo excel

Todos los datos de todas las combinaciones están recogidos en el apartado de anexo de la T.D.. Presentamos a continuación una tabla donde recogemos el consumo energético en kWh/m<sup>3</sup> sólo para el proceso de la O.I., para las relaciones caudales/factor de conversión en función de las temperaturas y el fouling factor.

Q(m <sup>3</sup> /día)/F.C.	19-0,85	19-1	20-0,85	20-1	21-0,85	21-1
500-42	2,64	2,56	2,63	2,54	2,62	2,53
500-45	2,78	2,67	2,76	2,66	2,74	2,65
1.000-42	2,62	2,52	2,61	2,52	2,59	2,50
1.000-45	2,73	2,64	2,72	2,62	2,70	2,61
2.000-42	2,59	2,50	2,58	2,49	2,56	2,48
2.000-45	2,73	2,64	2,72	2,62	2,70	2,61
5.000-42	2,59	2,50	2,58	2,49	2,56	2,48
5.000-45	2,71	2,61	2,69	2,60	2,68	2,59
7.500-42	2,60	2,51	2,58	2,49	2,57	2,48
7.500-45	2,71	2,61	2,69	2,60	2,68	2,59
10.000-42	2,60	2,51	2,58	2,50	2,57	2,48
10.000-45	2,71	2,61	2,69	2,60	2,68	2,59
12.000-42	2,59	2,50	2,58	2,49	2,56	2,48
12.000-45	2,71	2,61	2,69	2,60	2,68	2,58
15.000-42	2,60	2,51	2,58	2,50	2,57	2,48
15.000-45	2,71	2,61	2,69	2,60	2,68	2,58

Tabla 78. Consumo energético en kWh/m<sup>3</sup> del proceso de O.I. (opciones diferentes)

De la tabla anterior podemos observar que corresponde a una temperatura de 21°C y un valor del fouling factor de 1 los valores que representan un menor consumo energético.

A continuación colocamos en una tabla los datos de la potencia en kW de las bombas de alta presión y booster correspondiente al proceso de la ósmosis inversa, así como, el consumo de la mejor opción de las mismas.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	O.I. BAP+BOOSTER (kW)	Consumo kWh/m <sup>3</sup>
500-42	51+5 = 56	2,53
500-45	58+4.5 = 62,5	2,65
1.000-42	107+9 = 116	2,50
1.000-45	112+8 = 120	2,61
2.000-42	210+19 = 229	2,48
2.000-45	225+18.5 = 243,5	2,61
5.000-42	501+40 = 541	2,48
5.000-45	527+38 = 565	2,59
7.500-42	733+63 = 796	2,48
7.500-45	773+60.5 = 833,5	2,59
10.000-42	977+85.5 = 1.062,5	2,48
10.000-45	1.030+80.5 = 1.110,5	2,59
12.000-42	1.170+100 = 1.270	2,48
12.000-45	1.237+84.5 = 1.321,5	2,58
15.000-42	1.462+131 = 1.593	2,48
15.000-45	1.546+113 = 1.659	2,58

Tabla 79. Consumo energético proceso de O.I. (opción elegida)

## c) Consumo energético correspondiente a los procesos intermedios en la planta

Una vez que el agua está en la planta desalinizadora, existen una serie de bombas de pequeña potencia que se encuentran en los procesos intermedios en la planta y que pertenecen a la impulsión del agua desde el depósito de alimentación al proceso de la ósmosis inversa y las distintas bombas dosificadoras con sus agitadores correspondientes pertenecientes a los distintos reactivos químicos que tenemos en la planta. Como consecuencia de lo anterior hemos realizado la tabla siguiente donde aportamos los datos de las pequeñas bombas así como el consumo de las mismas.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	Procesos intermedios (kW)	Consumo kWh/m <sup>3</sup>
500-42	3+5 = 8	0,4
500-45	3+5 = 8	0,4
1.000-42	3+5 = 8	0,2
1.000-45	3+5 = 8	0,2
2.000-42	5+5 = 10	0,12
2.000-45	5+5 = 10	0,12
5.000-42	5+5 = 10	0,05
5.000-45	5+5 = 10	0,05
7.500-42	7+5 = 12	0,04
7.500-45	7+5 = 12	0,04
10.000-42	7+5 = 12	0,03
10.000-45	7+5 = 12	0,03
12.000-42	9+5 = 14	0,03
12.000-45	9+5 = 14	0,03
15.000-42	9+5 = 14	0,02
15.000-45	9+5 = 14	0,02

Tabla 80. Consumo energético procesos intermedios

## d) Consumo energético correspondiente al coste medioambiental

Al igual que hicimos con el apartado de bombeo del agua de alimentación, ahora cogemos los datos de la potencia correspondiente a la bomba de impulsión de agua de mar correspondiente al coste medioambiental y calculamos el consumo acorde a la expresión matemática utilizada.

En función de lo anterior tenemos los siguientes valores aportados en la tabla.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	B. medioambiental (kW)	Consumo kWh/m <sup>3</sup>
500-42	5	0,24
500-45	4,7	0,22
1.000-42	10	0,24
1.000-45	9,5	0,23
2.000-42	20	0,24
2.000-45	19	0,23
5.000-42	50,5	0,24
5.000-45	47	0,23
7.500-42	76	0,24
7.500-45	71	0,23
10.000-42	101	0,24
10.000-45	95	0,23
12.000-42	121,5	0,24
12.000-45	113,5	0,23
15.000-42	152	0,24
15.000-45	142	0,23

Tabla 81. Consumo energético proceso medioambiental

## e) Consumo energético correspondiente al bombeo a los consumidores

Al igual que en los otros apartados, recogemos los datos de la parte que corresponde al cálculo de la bomba que impulsa el agua a los consumidores y calculamos su consumo con las fórmulas ya descritas con anterioridad. En función de lo anterior presentamos la siguiente tabla con los datos mencionados.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	B. consumidores (kW)	Consumo kWh/m <sup>3</sup>
500-42	4	0,19
500-45	4	0,19
1.000-42	8	0,19
1.000-45	8	0,19
2.000-42	16	0,19
2.000-45	16	0,19
5.000-42	45	0,22
5.000-45	45	0,22
7.500-42	67	0,22
7.500-45	67	0,22
10.000-42	89	0,22
10.000-45	89	0,22
12.000-42	107	0,22
12.000-45	107	0,22
15.000-42	133	0,22
15.000-45	133	0,22

Tabla 82. Consumo energético proceso de bombeo a consumidores

## f) Consumo energético total

Una vez que hemos realizado la totalidad de los cálculos y obtenido la totalidad de los datos de cada una de las etapas, en lo se refiere a potencia de las bombas y consumo, presentamos a continuación 2 tablas que nos ponen de manifiesto la potencia total necesaria para el funcionamiento adecuado de la planta desalinizadora, así como el consumo definitivo de la planta. Con estos datos podremos calcular en el apartado de resultados y gráficas los costes en los que hay que incurrir para poder poner en funcionamiento dicha planta. Presentamos por tanto la tabla correspondiente a la potencia eléctrica en kW de las bombas.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	Alimentación	BAP/BOOSTER	intermedio	ambiente	consumidores	Total
500-42	10	51+5	3+5	5	4	83
500-45	9	58+4,5	3+5	4,7	4	88,2
1.000-42	20	107+9	3+5	10	8	162
1.000-45	19	112+8	3+5	9,5	8	164,5
2.000-42	40	210+19	5+5	20	16	315
2.000-45	38	225+18,5	5+5	19	16	326,5
5.000-42	105	501+40	5+5	50,5	45	751,5
5.000-45	97,5	527+38	5+5	47	45	764,5
7.500-42	156	733+63	7+5	76	67	1.107
7.500-45	146	773+60,5	7+5	71	67	1.129,5
10.000-42	209	977+85,5	7+5	101	89	1.473,5
10.000-45	195	1.030+80,5	7+5	95	89	1.501,5
12.000-42	250	1.170+100	9+5	121,5	107	1.762,5
12.000-45	234	1.237+84,5	9+5	113,5	107	1.790
15.000-42	313	1.462+131	9+5	152	133	2.205
15.000-45	292	1.546+113	9+5	142	133	2.240

Tabla 83. Resumen de las potencias de las diferentes etapas

Presentamos a continuación la siguiente tabla con el consumo de electricidad en kWh/m<sup>3</sup> correspondiente.

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	Alimentación	BAP/BOOSTER	intermedio	ambiente	consumidores	Total
500-42	0,48	2,53	0,4	0,24	0,19	3,82
500-45	0,43	2,65	0,4	0,22	0,19	3,87
1.000-42	0,48	2,50	0,2	0,24	0,19	3,60
1.000-45	0,46	2,61	0,2	0,23	0,19	3,68
2.000-42	0,48	2,48	0,12	0,24	0,19	3,51
2.000-45	0,46	2,61	0,12	0,23	0,19	3,61
5.000-42	0,50	2,48	0,05	0,24	0,22	3,48
5.000-45	0,47	2,59	0,05	0,23	0,22	3,55
7.500-42	0,50	2,48	0,04	0,24	0,22	3,48
7.500-45	0,47	2,59	0,04	0,23	0,22	3,55
10.000-42	0,50	2,48	0,03	0,24	0,22	3,46
10.000-45	0,47	2,59	0,03	0,23	0,22	3,53
12.000-42	0,50	2,48	0,03	0,24	0,22	3,46
12.000-45	0,47	2,58	0,03	0,23	0,22	3,52
15.000-42	0,50	2,48	0,02	0,24	0,22	3,46
15.000-45	0,48	2,58	0,02	0,23	0,22	3,52

Tabla 84. Consumo energético de las diferentes etapas

Con todo esto hemos descrito y analizado la metodología empleado en este coste.

## 7.5 Modelo Matemático

Para finalizar la investigación que ha desarrollado esta T.D., estudiamos los resultados obtenidos, de manera que podamos encontrar el modelo matemático que nos defina nuestra investigación. Esta parte de la T.D. está definida en base a tres apartados bien diferenciados y que son los siguientes:

- a) Consideraciones iniciales, en las cuales abordamos una serie de consideraciones básicas referentes a los modelos matemáticos.
- b) El análisis multivariante, en el cual definimos las técnicas existentes que nos servirán de ayuda para definir el tipo al cual corresponde nuestra investigación.
- c) Proceso para la definición del modelo matemático en base a nuestros resultados, aportando finalmente el modelo adecuado a nuestra investigación.

### 7.5.1 Consideraciones Iniciales

#### Definición de Modelo Matemático

Un modelo matemático es la expresión formal (en lenguaje matemático) de las relaciones entre los componentes de un modelo. La construcción de un modelo de este tipo implica la selección y cuantificación de los componentes, variables y relaciones presentes en el sistema para representarlo con el nivel de detalle requerido. Puede ser algo tan simple como sustituir las variables de una ecuación por sus valores reales o puede ser un conjunto complejo de ecuaciones interrelacionadas cuyas variables se ven modificadas a lo largo del tiempo y a través del espacio.

Un modelo es una representación ideal de un sistema y la forma en que este opera. El objetivo es analizar el comportamiento del sistema o bien predecir su comportamiento futuro. Obviamente los modelos no son tan complejos como el sistema mismo, de tal manera que se hacen las suposiciones y restricciones necesarias para representar las porciones más relevantes del mismo. Claramente no habría ventaja alguna de utilizar modelos si estos no simplificaran la situación real. En muchos casos podemos utilizar modelos matemáticos que, mediante letras, números y operaciones, representan variables, magnitudes y sus relaciones. [162]

El lenguaje matemático permite describir y realizar un modelo de sistemas de manera objetiva y no ambigua; hasta el punto de que hoy en día se considera a los modelos matemáticos como representaciones de teorías acerca de los sistemas que se modelizan. El lenguaje simbólico que aportan las matemáticas permite expresar ideas de gran complejidad.

Debe distinguirse entre esta concepción de modelo, como representación de una teoría mediante una ecuación más o menos sencilla, y la idea de modelo como agrupación de un conjunto de ecuaciones (que responden a diferentes teorías) interconectadas de manera que representen las diferentes transferencias entre los componentes del sistema modelizado.

Por mínimamente complejo que sea un modelo, y especialmente si tiene en cuenta variaciones en el espacio o en el tiempo, requiere la resolución de muchísimas operaciones matemáticas.

Las características más importantes de los modelos matemáticos son [163]:

- Parsimonia.

Un modelo no es necesariamente mejor por tener muchos parámetros. La simplicidad es siempre deseable.

- Modestia.

Deben tratar de alcanzarse sólo objetivos asequibles. Un modelo, al igual que un mapa, no debe aspirar a imitar la realidad sino sólo a resaltar aquellos aspectos de interés para su aplicación.

- Exactitud.

El modelo debe reproducir en la medida de lo posible el funcionamiento del sistema y generar valores para las variables de salida y estado similares a los observados en la realidad.

- Verificabilidad.

Los resultados del modelo deben poder compararse con datos reales y determinar de este modo el grado de exactitud del modelo.

Un modelo es producto de una abstracción de un sistema real: eliminando las complejidades y haciendo suposiciones pertinentes, se aplica una técnica matemática y se obtiene una representación simbólica del mismo. Ver figura anexa.

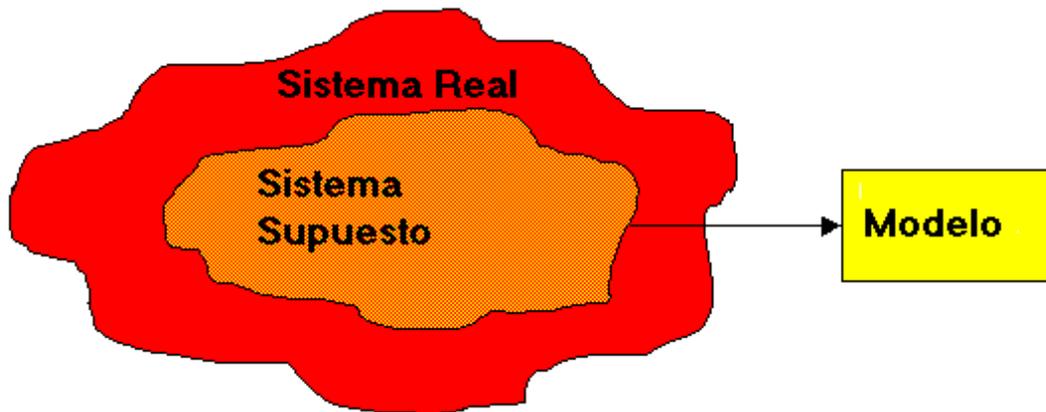


Figura 36. Esquema básico de modelo matemático. [163]

Un modelo matemático consta al menos de tres conjuntos básicos de elementos:

a) Variables de decisión y parámetros

Las variables de decisión son incógnitas que deben ser determinadas a partir de la solución del modelo. Los parámetros representan los valores conocidos del sistema o bien que se pueden controlar.

b) Restricciones

Las restricciones son relaciones entre las variables de decisión y magnitudes que dan sentido a la solución del problema y las acotan a valores factibles.

c) Función Objetivo

La función objetivo es una relación matemática entre las variables de decisión, parámetros y una magnitud que representa el objetivo o producto del sistema. Por ejemplo, si el objetivo del sistema es minimizar los costos de operación, la función objetivo debe expresar la relación entre el costo y las variables de decisión. La solución óptima se obtiene cuando el valor del costo sea mínimo para un conjunto de valores factibles de las variables. Es decir, hay que determinar las variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$  que optimicen el valor de  $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  sujeto a restricciones de la forma  $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$ . Donde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  son las variables de decisión  $Z$  es la función objetivo,  $f$  es una función matemática.

### Tipos de modelos matemáticos

Una clasificación de los modelos matemáticos podría basarse en una serie de características tales como:

- Empíricos o basados en principios físicos

El carácter empírico o físico constituye la característica fundamental de un modelo. Un modelo físico se basa en las leyes físicas que rigen los procesos, un modelo empírico se basa en relaciones estadísticamente significativas entre variables. Las ecuaciones que describen un modelo estadístico no son por tanto físicamente o dimensionalmente consistentes ni universales, ya que en rigor sólo son válidas para el contexto espacio-temporal en el que se calibraron. Se caracterizan por un alto poder predictivo pero una escasa capacidad explicativa, es decir reproducen el funcionamiento del sistema razonablemente bien pero no permiten saber por que el sistema funciona así. Los modelos estadísticos se conocen también como modelos de caja negra ya que no permiten descubrir el funcionamiento interno del sistema.

Los modelos físicos se denominan, por contraposición, modelos de caja blanca. Se trata de modelos en los que las transferencias de materia y energía entre sus componentes se rigen mediante ecuaciones físicas y que además cumplen las leyes de conservación de la materia y la energía, tanto para el conjunto del modelo como para cada uno de los submodelos.

Una posibilidad intermedia son los modelos de caja gris o conceptuales. Se trata de modelos en los que el sistema se descompone en una serie de componentes que se resuelven como modelos empíricos pero cuya integración se basa en principios físicos o al menos en cierto conocimiento a priori de cómo funciona el sistema.

Para poder construir un modelo físico es necesario un alto conocimiento acerca de como funciona el sistema a modelizar. El modelo resultante permite transformar unas variables de entrada en variables de salida. En el caso de los modelos empíricos la falta de conocimiento acerca del sistema se compensa con datos de calidad y en cantidad suficiente de las variables de entrada y de salida. A partir de estos datos podemos construir un modelo empírico que nos permita, posteriormente, obtener las variables de salida a partir de un nuevo conjunto de valores para las variables de entrada.

- Estocásticos o deterministas

Los primeros incluyen generadores de procesos aleatorios dentro del modelo que modifican ligeramente algunas de las variables. De esta manera, para un mismo conjunto de datos de entrada, las salidas no serían siempre las mismas. La distinción ente modelos deterministas o estocásticos se confunde a veces con la anterior, relacionando equivocadamente modelos estocásticos con empíricos y deterministas con físicos. En realidad un modelo determinista es aquel en el que dado un conjunto de parámetros y variables de entrada va a producir siempre el mismo conjunto de variables de salida. En el caso de un modelo estocástico

los valores de las variables de salida van a variar de unas ejecuciones del modelo a otras ya que se deja intervenir al azar.

La introducción del componente estocástico permite además comprobar como se comportaría el modelo para diferentes conjuntos de parámetros o valores de las variables de entrada. De este modo, en lugar de obtener un resultado a partir de un conjunto verosímil de datos, obtendremos un conjunto de resultados a partir de varios conjuntos verosímiles de parámetros y variables. Así no tenemos por qué conformarnos con un valor esperable sino que tendremos un rango de variación dentro del cual estarán los resultados esperables. Por ejemplo, en el caso de estimación del riesgo de inundación resulta muy difícil determinar cual será la altura máxima de la lámina de agua. Los modelos estocásticos permitirían obtener una distribución de probabilidades de altura de agua, lo que sería más interesante de cara a la planificación del territorio.

- Agregados o distribuidos

En el primer caso toda el área de estudio se considera de forma conjunta. Se tiene un único valor para todos los parámetros del modelo. El modelo predice unas salidas para las entradas aportadas sin informar de lo que ocurre dentro del sistema.

En un modelo distribuido, tendremos el área de estudio dividida en porciones cada una de ellas con su propio conjunto de parámetros y sus propias variables de estado. Cada porción recibe un flujo de materia y energía de algunas de sus vecinas que a su vez reemite a otras.

Una tercera posibilidad son los modelos semidistribuidos que se construyen a partir de la yuxtaposición de diversos modelos agregados.

- Estáticos o dinámicos

Se refiere a la forma en que se trata el tiempo. Los modelos estáticos dan un resultado agregado para todo el período de tiempo considerado. Este puede ser por ejemplo un caudal medio o un caudal punta. Los modelos dinámicos devuelven las series temporales de las variables consideradas a lo largo del período de estudio. Por ejemplo, podemos considerar un modelo estático de cuenca en el que el caudal medio ( $Q'$ ) depende de la precipitación media ( $P'$ ) y de los parámetros de la cuenca ( $P_c$ ):

$$Q' = f(P', P_c)$$

un modelo dinámico en el que el caudal en cada intervalo de tiempo considerado ( $Q_{t+1}$ ) depende de la precipitación no sólo en dicho intervalo de tiempo sino también en los intervalos anteriores y de los parámetros de la cuenca:

$$Q_t = f(P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, \dots, P_c)$$

Los parámetros se distinguen de las variables en que aquellos son invariantes a la escala espacio-temporal del modelo. Las variables de entrada y salida representan flujos de materia y energía desde y hacia el interior del sistema (precipitación y caudal por ejemplo). Las variables de estado representan cambios en la cantidad de materia y energía disponible (humedad del suelo). La distinción entre variables y parámetros depende de la escala, espacial y temporal, del modelo.

En definitiva, un sistema natural recibe entradas de materia y energía de su entorno que devuelve a dicho entorno con ciertas modificaciones. Entre estas modificaciones cabe destacar:

- Desplazamiento en el espacio
- Modulación en el tiempo de los flujos

Si el modelo tiene en cuenta de forma explícita el espacio estamos ante un modelo espacialmente distribuido. No obstante si se tiene en cuenta el tiempo tenemos un modelo dinámico. La figura 37 muestra un esquema del comportamiento general de un sistema.

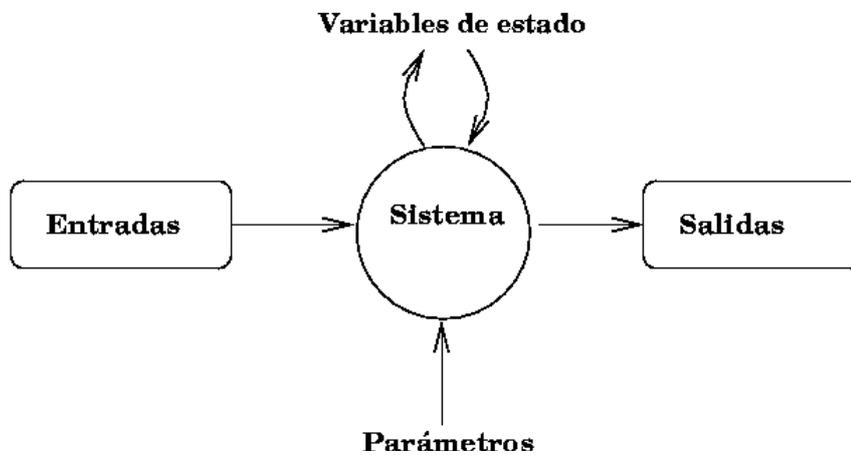


Figura 37. Modelos de procesos

Muchos problemas de decisión implican un gran número de factores o variables importantes o pueden tener muchas opciones a considerar por lo que se hace necesario la utilización de computadoras para su solución. Por ejemplo una empresa puede contar con varias fábricas donde produce bienes para enviar a cientos de clientes. Decidir la programación de las fábricas y determinar cuales de ellas deben atender a cuáles clientes, para minimizar costos, implica cientos de variables y restricciones que pueden tener millones de posibles soluciones. Los modelos de programación lineal y programación entera son las técnicas más utilizadas para

resolver problemas grandes y complejos de negocios de este tipo. En ellos se aplican técnicas matemáticas para hallar el valor máximo (o el mínimo) de un objetivo sujeto a un conjunto de restricciones.

La simulación es una técnica para crear modelos de sistemas grandes y complejos que incluyen incertidumbre. Se diseña un modelo para repetir el comportamiento del sistema. Este tipo de modelo se basa en la división del sistema en módulos básicos o elementales que se enlazan entre sí mediante relaciones lógicas bien definidas. El desarrollo de un modelo de simulación es muy costoso en tiempo y recursos.

Los problemas dinámicos de decisión implican un tipo particular de complejidad cuando hay una secuencia de decisiones interrelacionadas a través de varios períodos. Por ejemplo modelos de inventario, para determinar cuando pedir mercadería y cuanto debe mantenerse en existencia; los modelos PERT o de ruta Critica para la programación de proyectos y los modelos de colas para problemas que involucran congestión.

En los problemas complejos pueden aparecer variables exógenas o variables externas, importantes para el problema de decisión, pero que están condicionadas por factores que están fuera del control de la persona que decide, tales como condiciones económicas, acciones de los competidores, precios de las materias primas y otros factores similares. Las restricciones pueden considerar ciertas políticas definidas por la empresa tales como que los materiales tienen que adquirirse a determinados proveedores o que deben mantenerse ciertos niveles de calidad. Los modelos están definidos por una serie de variables, según se puede observar en la figura siguiente.

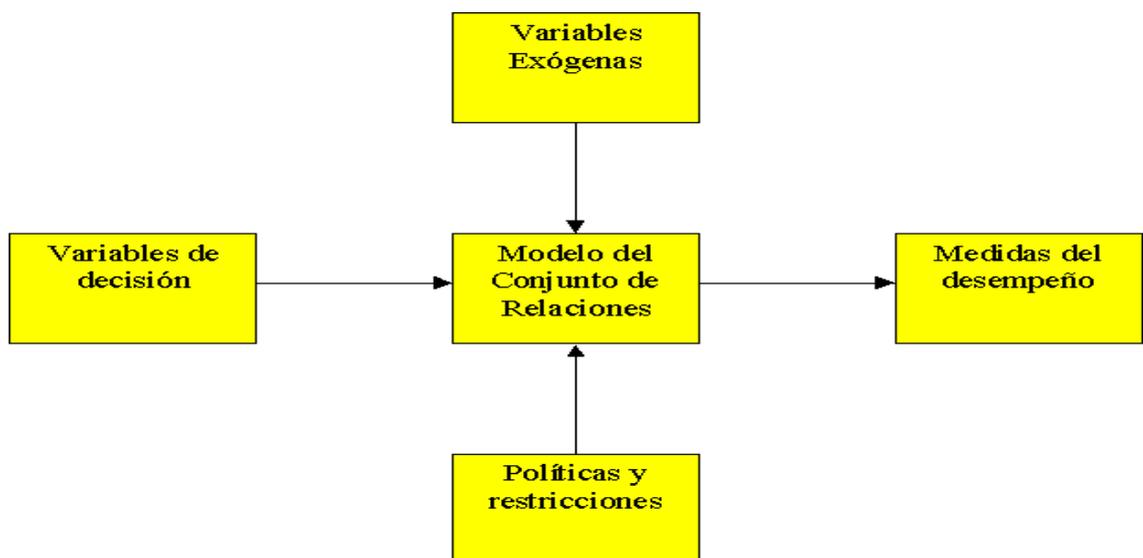


Figura 38. Variables del modelo

La investigación de operaciones, tiene métodos de optimización aplicables a los siguientes tipos de problemas:

**METODOS DETERMINISTICOS:**

Ej, Programación lineal, programación entera, probabilidad de transporte, programación no lineal, teoría de localización o redes, probabilidad de asignación, programación por metas, teoría de inventarios, etc.

**METODOS PROBABILISTICOS:**

Ej. Cadenas de Markov, teoría de juegos, líneas de espera, teoría de inventarios, etc.

**METODOS HIBRIDOS:**

Tienen que ver con los métodos determinísticos y probabilísticos como la teoría de inventarios.

**METODOS HEURISTICOS:**

Son las soluciones basadas en la experiencia, como la programación heurística.

Un Analista de investigación de Operaciones debe elegir el plan de acción más efectivo para lograr las metas de la organización, debe seleccionar un conjunto de medidas de desempeño, utilizar una unidad monetaria y tomar decisiones. Asimismo, debe seguir un proceso general de solución, en cualquier situación, durante la toma de decisiones. Deben establecerse los criterios de tomas de decisiones (Costos, Cantidades, Máximos, Mínimos etc), seleccionar las alternativas, determinar un modelo y evaluarlo, integrar la información cuantitativa obtenida para luego decidir. Muchas veces hay que incorporar factores cualitativos tales como el ánimo y el liderazgo en la organización, problemas de empleo, contaminación u otras de responsabilidad social.

Los modelos planteados se conocen como modelos determinísticos. En contraste, en algunos casos, quizá no se conozcan con certeza los datos, más bien se determinan a través de distribuciones de probabilidad, se da cabida a la naturaleza probabilística de los fenómenos naturales. Esto da origen a los así llamados modelos probabilísticos o estocásticos.

Las dificultades evidentes en los cálculos de los modelos matemáticos han obligado a los analistas a buscar otros métodos de cálculo que aunque no garantizan la optimalidad de la solución final, buscan una buena solución al problema. Tales métodos se denominan heurísticos. Suelen emplearse con dos fines: En el contexto de un algoritmo de optimización exacto, con el fin de aumentar la velocidad del proceso. En segundo lugar para obtener una solución al problema aunque no óptima, la que puede ser muy difícil encontrar.

## Componentes de un modelo

La descripción de un modelo suele hacerse atendiendo tanto a sus características estructurales (componentes y relaciones) como funcionales (ecuaciones y parámetros que definen estas relaciones).

Las relaciones entre variables pueden formalizarse mediante un diagrama causal, figuras 39 y 40, que generalmente utilizan la notación siguiente:

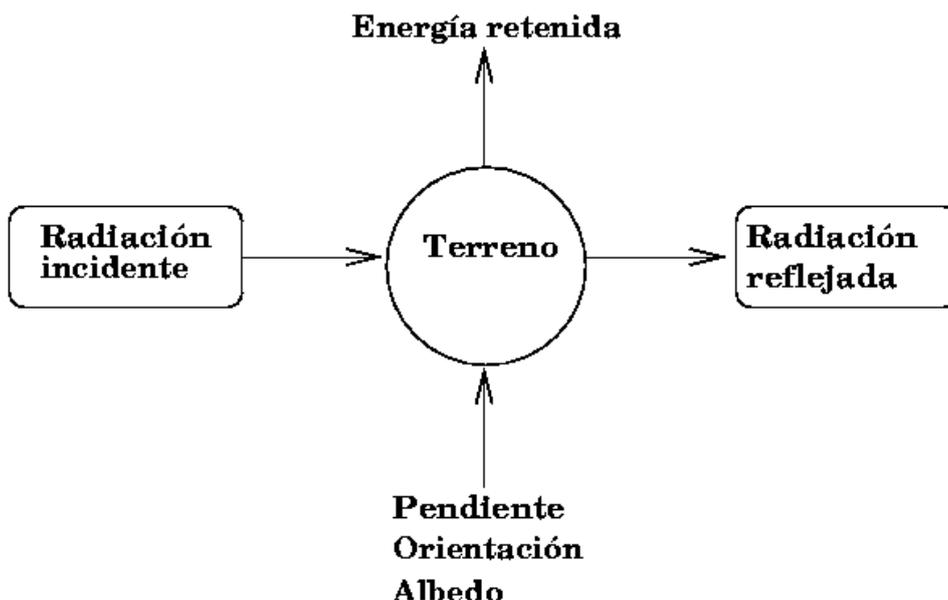


Figura 39. Modelos de radiación

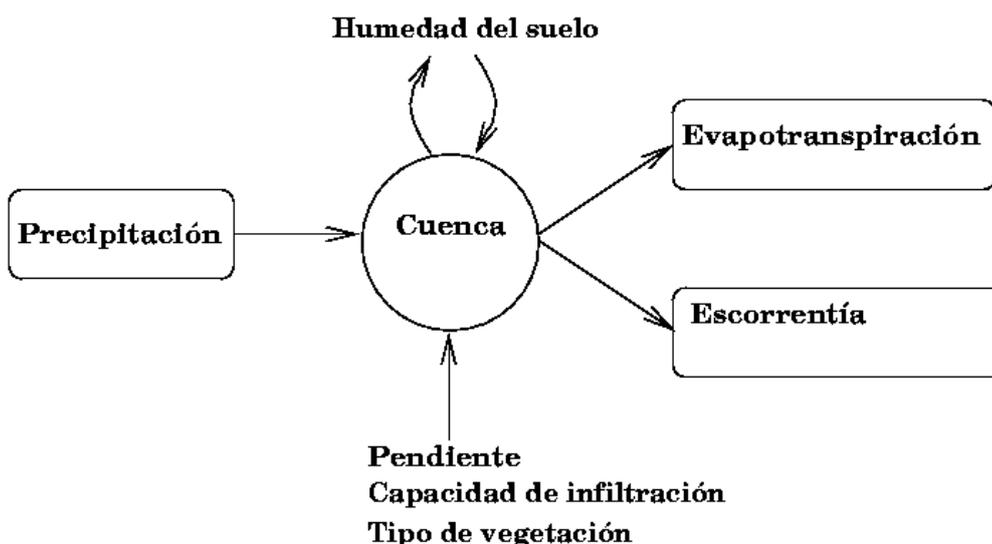


Figura 40. Modelos de procesos en una cuenca

a→+ b

Cuando una variable “a” afecta a otra “b” y esta última a su vez afecta a la primera tenemos un bucle de retroalimentación que suele codificarse mediante un círculo en cuyo interior se coloca un signo + si el bucle es explosivo y un signo – si el bucle es depresivo.

- Cuando en una secuencia de retroalimentación sólo aparecen signos positivos el bucle es explosivo.
- Cuando sólo hay bucles negativos el bucle es depresivo.
- Cuando hay signos positivos y negativos es explosivo si la suma de signos negativos es par (y así se compensan unos a otros) en caso contrario es depresivo.

Los modelos de Dinámica de Sistemas, enunciados por primera vez por Forrester (1961) han aportado una nomenclatura y una simbología ampliamente utilizada para la definición de las características estructurales de los modelos.

a) Variables de estado o niveles.

Corresponden a la cantidad de materia o energía almacenada en cada uno de los componentes (subsistemas) que forman parte del sistema. Suelen representarse mediante un rectángulo.

b) Flujos.

Indican la cantidad de materia o energía que viaja de un componente a otro en un intervalo determinado de tiempo. Afectan por tanto a los niveles, llenando unos (flujos de entrada) y vaciando otros (flujos de salida). Suelen representarse con una flecha, indicando la dirección del flujo, que atraviesa un símbolo que recuerda a un grifo.

c) Fuentes y sumideros.

Representan niveles exógenos que, por ser exteriores al sistema no interesa controlar.

Suelen representarse mediante nubes. Los flujos que se dirigen de una fuente a una variable de estado son las variables de entrada, los que se dirigen de una variable de estado a un sumidero son las variables de salida.

d) Variables auxiliares.

Intervienen en las diversas ecuaciones que componen el sistema pero no se corresponden con un nivel o flujo. Suelen representarse con un círculo.

e) Variables exógenas.

Actúan fuera del sistema pero condicionan las variables de entrada. Pueden modificarse para construir escenarios. Un buen ejemplo sería la constante solar que, siendo ajena al sistema climático, modifica las trayectorias de este.

f) Parámetros.

Similares a las variables auxiliares pero cuyo valor no varía a lo largo del período de simulación, si el modelo se construyera a una escala diferente podrían dejar de ser parámetros para convertirse en variables.

g) Constantes.

Corresponden a magnitudes físicas que, como la aceleración de la gravedad, no varían en ningún caso.

h) Canal de información.

Relacionan variables, parámetros o niveles con los componentes en cuya ecuación se utilizan. Se representan con flechas, distintas de las utilizadas para representar flujos, o mediante líneas.

i) Condiciones iniciales.

Valores iniciales de las variables de estado.

j) Condiciones de contorno.

Series temporales de valores de las variables de entrada.

k) Escenario.

Conjunto plausible de variables exógenas, parámetros y condiciones iniciales y de contorno que permiten experimentar con un modelo diversas situaciones.

Todos estos componentes pueden resumirse en características formales que incluyen las variables de estado, flujos, variables, canales de información, etc., formando un diagrama de flujo. Las características funcionales hacen referencia a las ecuaciones y valores de las variables y parámetros que aparecen detrás de las características estructurales.

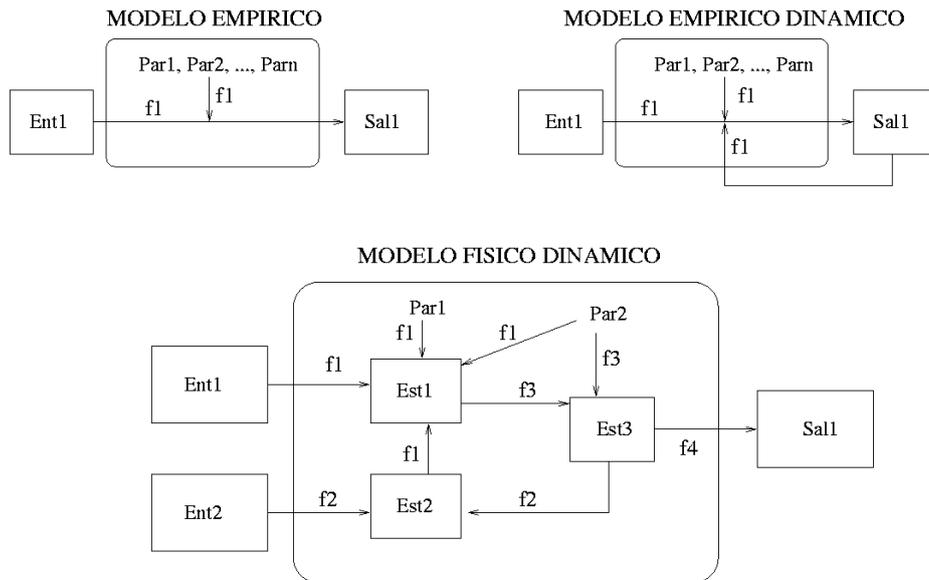


Figura 41. Tipos de modelos

### Ecuaciones de los modelos

Las ecuaciones de los modelos matemáticos establecen de manera explícita cuales son las influencias de unos componentes sobre otros que ya se han representado en primer lugar mediante un grafo. El elegir un tipo de modelo u otro, figura anterior, implica generalmente elegir un tipo de ecuaciones u otro.

Los modelos físicos se suelen construir mediante ecuaciones diferenciales que se resuelven mediante métodos numéricos. Si el modelo es distribuido y dinámico se utilizarán métodos de diferencias finitas utilizando la resolución espacial y temporal como valores de  $\Delta X$  y  $\Delta t$  respectivamente.

Los modelos empíricos utilizan modelos de regresión para establecer cual es la relación entre las variables de entrada y los parámetros y las variables de salida. Los modelos empíricos y dinámicos utilizan ecuaciones específicas como los métodos autorregresivos y de medias móviles o las cadenas de Markov.

Los modelos empíricos distribuidos son generalmente modelos de interpolación que a partir de observaciones de una variable en un conjunto de puntos, generan valores de dicha variable en todo el área de trabajo.

Los modelos estocásticos se utilizan como complemento a cualquiera de los anteriores. Se basan en la definición de las funciones de distribución de las variables estudiadas y en la utilización de números aleatorios para generar series de valores a partir de estas.

En todo caso, estas ecuaciones, junto con los esquemas de flujo para su resolución, constituyen hipótesis acerca del comportamiento de los procesos. Estas ecuaciones toman variables de entrada y producen una serie de variables de salida en función de parámetros que reflejan las características del territorio. Por otro lado existe un conjunto de variables de estado internas al sistema que se ven modificadas.

Simulación por ordenador es la resolución mediante un ordenador del conjunto de ecuaciones que conforman un modelo matemático reorganizadas de forma algorítmica mediante un programa informático.

### **Fases de los modelos**

Los pasos a seguir en la definición de un modelo son:

a) Identificación.

Es la determinación de los componentes y relaciones, así como de las ecuaciones matemáticas  $f()$  que representan el modelo.

b) Calibración.

Es la determinación de los valores de los parámetros; bien midiéndolos en el campo o bien estimándolos mediante algún modelo empírico.

c) Validación.

Es la obtención de las variables de estado y salida en un tiempo pasado para su comparación con valores reales de las mismas. El objetivo es evaluar el error cometido por el modelo y determinar si es asumible.

d) Simulación.

Es la obtención de las variables de estado y de salida en un tiempo futuro a partir de series simuladas de variables de entrada.

e) Análisis de sensibilidad.

Simulación pero alterando los valores de los parámetros para determinar la influencia de cada uno de ellos en los resultados aportados por el modelo.

### Conceptualización

Uno de los primeros pasos en el desarrollo de un modelo, y a la vez una de las mayores ventajas de la utilización de este tipo de herramientas es la necesidad de especificar de la manera más objetiva posible los conocimientos que el investigador o el equipo de trabajo tiene acerca del sistema o problema que se va a tratar de modelizar. Se hace necesaria una investigación bibliográfica para conocer cual es el conocimiento científico disponible acerca del problema a tratar y, en particular, que soluciones se han propuestos en trabajos de modelización anteriores.

En esta fase es necesario determinar cuales son los elementos y procesos que actúan en el sistema y cuales son los factores que influyen sobre estos. De este modo un modelo conceptual constituye una teoría acerca del funcionamiento del sistema. Si los resultados del modelo que se construye partiendo de esta teoría no se ajustan a la realidad, podemos concluir que la teoría se partida, el modelo conceptual, no era adecuada y debe revisarse.

En la conceptualización del problema no basta con tener en cuenta aspectos puramente científicos sino que también habrá que tener en cuenta los objetivos del modelo y las limitaciones técnicas con las que tenemos que trabajar. De nada serviría un modelo de prevención de avenidas que predijese perfectamente por donde va a desbordar el Segura 6 días después de que ocurriese la catástrofe.

### Construcción del Modelo

Supone traducir un modelo conceptual a un lenguaje de programación y comprobar que el código generado funciona correctamente. Es importante, sin embargo, tener en cuenta que el hecho de que un programa funcione correctamente no implica que el modelo que implementa sea correcto.

La construcción de un modelo supone las siguientes fases:

a) Modularización.

Se trata de descomponer el conjunto de ecuaciones que van a constituir el modelo en porciones de código más fácilmente abordables. Se trata de generar, en la medida de los

posible, funciones pequeñas que realicen tareas concretas y que sean fáciles de programar y mantener. Las interrelaciones entre todos estos módulos o funciones constituye el programa.

b) Programación.

Las diferentes ecuaciones se combinan utilizando las diferentes estructuras de control que los lenguajes de programación proporcionan. En muchos casos se reutiliza código de otros modelos. En definitiva se trata de escribir los algoritmos necesarios para la ejecución del modelo.

c) Prueba.

Cada módulo por separado y la integración de todos ellos deben ser probados para verificar que se ejecutan correctamente, que los programas no se cuelgan y que no aparecen mensajes de error.

d) Verificación.

Si un módulo logra ejecutarse con éxito, habrá que probarlo con un conjunto de parámetros y variables plausible.

## 7.5.2 El análisis multivariante

### Análisis Multivariante

Es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariantes en el sentido de que hay varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado.

Su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir.

Así, dicen [164]:

“Las mujeres y hombres de negocios de hoy no pueden seguir aproximaciones ya pasadas en las que los consumidores eran considerados homogéneos y caracterizados por un número pequeño de variables demográficas. En su lugar, deben desarrollar estrategias que atraigan a numerosos segmentos de clientes con características demográficas y psicográficas diversas en un mercado con múltiples restricciones (legales, económicas, competitivas,

tecnológicas, etc). Sólo a través del análisis multivariante las relaciones múltiples de este tipo podrán ser examinadas adecuadamente para obtener un entendimiento más completo y real del entorno que permita tomar las decisiones más adecuadas.”

### Objetivos del Análisis Multivariante

Los objetivos están basados en proporcionar métodos cuya finalidad es el estudio conjunto de datos multivariantes que el análisis estadístico uni y bidimensional es incapaz de conseguir y ayudar al analista o investigador a tomar decisiones óptimas en el contexto en el que se encuentre teniendo en cuenta la información disponible por el conjunto de datos analizado

### Técnicas multivariantes

Se pueden clasificar en tres grandes grupos según la tabla siguiente, [62,165]:

#### a) Métodos de dependencia

Suponen que las variables analizadas están divididas en dos grupos: las variables dependientes y las variables independientes. El objetivo de los métodos de dependencia consiste en determinar si el conjunto de variables independientes afecta al conjunto de variables dependientes y de qué forma.

#### b) Métodos de interdependencia

Estos métodos no distinguen entre variables dependientes e independientes y su objetivo consiste en identificar qué variables están relacionadas, cómo lo están y por qué.

#### c) Métodos estructurales

Suponen que las variables están divididas en dos grupos: el de las variables dependientes y el de las independientes. El objetivo de estos métodos es analizar, no sólo como las variables independientes afectan a las variables dependientes, sino también cómo están relacionadas las variables de los dos grupos entre sí.

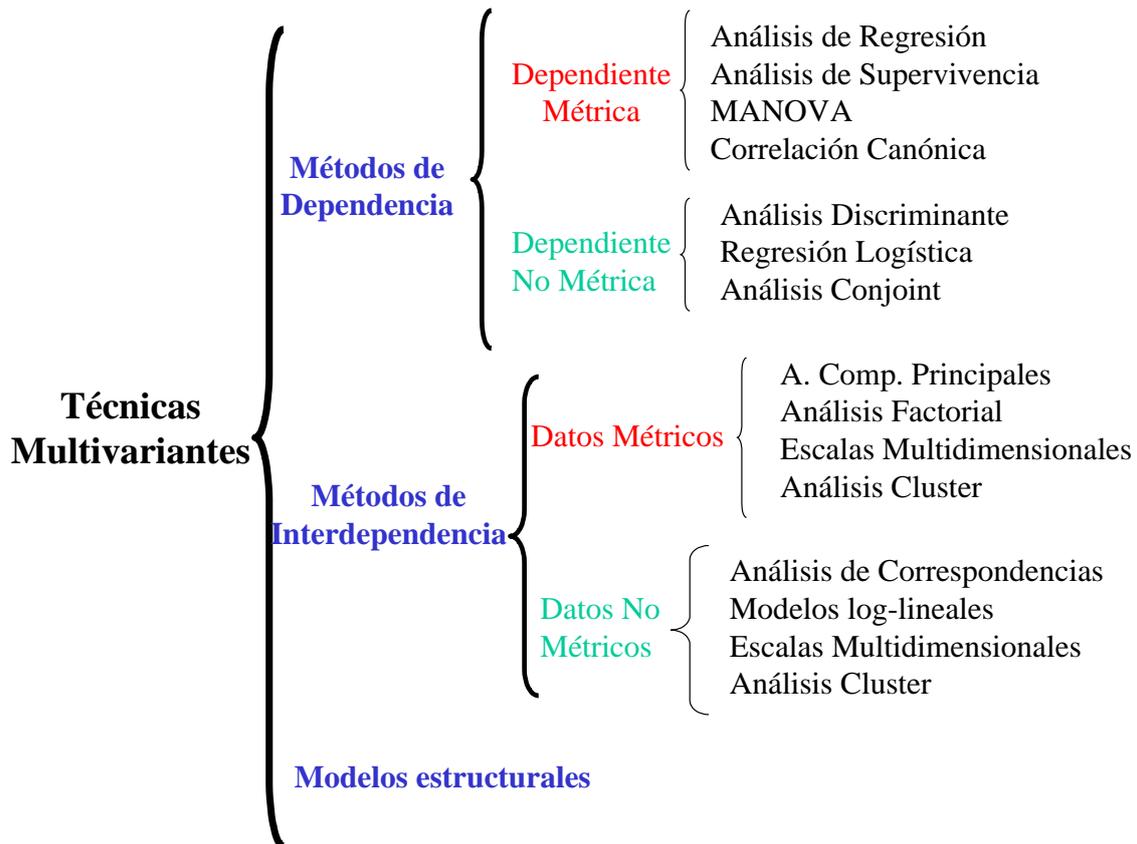


Tabla 85. Técnicas Multivariantes

### Métodos de dependencia

Se pueden clasificar en dos grandes subgrupos según que la variable (s) dependiente (s) sea (n) cuantitativas o cualitativas.

Si la variable dependiente es cuantitativa algunas de las técnicas que se pueden aplicar son las siguientes:

#### a) Análisis de Regresión

Es la técnica adecuada si en el análisis hay una o varias variables dependientes métricas cuyo valor depende de una o varias variables independientes métricas.

#### b) Análisis de Supervivencia

Es similar al análisis de regresión pero con la diferencia de que la variable independiente es el tiempo de supervivencia de un individuo u objeto.

#### c) Análisis de la varianza

Se utilizan en situaciones en las que la muestra total está dividida en varios grupos basados en una o varias variables independientes no métricas y las variables dependientes

analizadas son métricas. Su objetivo es averiguar si hay diferencias significativas entre dichos grupos en cuanto a las variables dependientes se refiere.

d) Correlación Canónica

Su objetivo es relacionar simultáneamente varias variables métricas dependientes e independientes calculando combinaciones lineales de cada conjunto de variables que maximicen la correlación existente entre los dos conjuntos de variables.

Si la variable dependiente es cualitativa algunas de las técnicas que se pueden aplicar son las siguientes:

a) Análisis Discriminante

Esta técnica proporciona reglas de clasificación óptimas de nuevas observaciones de las que se desconoce su grupo de procedencia basándose en la información proporcionada los valores que en ella toman las variables independientes.

b) Modelos de regresión logística

Son modelos de regresión en los que la variable dependiente es no métrica. Se utilizan como una alternativa al análisis discriminante cuando no hay normalidad

c) Análisis Conjoint

Es una técnica que analiza el efecto de variables independientes no métricas sobre variables métricas o no métricas. La diferencia con el Análisis de la Varianza radica en dos hechos: las variables dependientes pueden ser no métricas y los valores de las variables independientes no métricas son fijadas por el analista. En otras disciplinas se conoce con el nombre de Diseño de Experimentos.

Métodos de Interdependencia

Se pueden clasificar en dos grandes grupos según que el tipo de datos que analicen sean métricos o no métricos.

Si los datos son métricos se pueden utilizar, entre otras, las siguientes técnicas:

a) Análisis Factorial y Análisis de Componentes Principales

Se utiliza para analizar interrelaciones entre un número elevado de variables métricas explicando dichas interrelaciones en términos de un número menor de variables denominadas factores (si son inobservables) o componentes principales (si son observables).

#### b) Escalas Multidimensionales

Su objetivo es transformar juicios de semejanza o preferencia en distancias representadas en un espacio multidimensional. Como consecuencia se construye un mapa en el que se dibujan las posiciones de los objetos comparados de forma que aquéllos percibidos como similares están cercanos unos de otros y alejados de objetos percibidos como distintos.

#### c) Análisis Cluster

Su objetivo es clasificar una muestra de entidades (individuos o variables) en un número pequeño de grupos de forma que las observaciones pertenecientes a un grupo sean muy similares entre sí y muy disimilares del resto. A diferencia del Análisis Discriminante se desconoce el número y la composición de dichos grupos.

Si los datos son no métricos se pueden utilizar, además de las Escalas Multidimensionales y el Análisis Cluster, las siguientes técnicas:

#### a) Análisis de Correspondencias

Se aplica a tablas de contingencia multidimensionales y persigue un objetivo similar al de las escalas multidimensionales pero representando simultáneamente las filas y columnas de las tablas de contingencia.

#### b) Modelos log-lineales

Se aplican a tablas de contingencia multidimensionales y modelizan relaciones de dependencia multidimensional de las variables observadas que buscan explicar las frecuencias observadas.

#### c) Métodos estructurales

Analizan las relaciones existentes entre un grupo de variables representadas por sistemas de ecuaciones simultáneas en las que se suponen que algunas de ellas (denominadas constructos) se miden con error a partir de otras variables observables denominadas indicadores.

Los modelos utilizados constan, por lo tanto, de dos partes: un modelo estructural que especifica las relaciones de dependencia existente entre los constructos latentes y un modelo de medida que especifica como los indicadores se relacionan con sus correspondientes constructos.

#### Etapas de un análisis multivariante

Las etapas del análisis multivariantes son las siguientes:

##### 1) Objetivos del análisis

Se define el problema especificando los objetivos y las técnicas multivariantes que se van a utilizar. El investigador debe establecer el problema en términos conceptuales definiendo los conceptos y las relaciones fundamentales que se van a investigar. Se deben establecer si dichas relaciones van a ser relaciones de dependencia o de interdependencia. Con todo esto se determinan las variables a observar.

##### 2) Diseño del análisis

Se determina el tamaño muestral, las ecuaciones a estimar (si procede), las distancias a calcular (si procede) y las técnicas de estimación a emplear. Una vez determinado todo esto se proceden a observar los datos

##### 3) Hipótesis del análisis

Se evalúan las hipótesis subyacentes a la técnica multivariante. Dichas hipótesis pueden ser de normalidad, linealidad, independencia, homocedasticidad, etc. También se debe decidir qué hacer con los datos missing.

##### 4) Realización del análisis

Se estima el modelo y se evalúa el ajuste a los datos. En este paso pueden aparecer observaciones atípicas (outliers) o influyentes cuya influencia sobre las estimaciones y la bondad de ajuste se debe analizar.

##### 5) Interpretación de los resultados

Dichas interpretaciones pueden llevar a reespecificaciones adicionales de las variables o del modelo con lo cual se puede volver de nuevo a los pasos 3) y 4).

## 6) Validación del análisis

Consiste en establecer la validez de los resultados obtenidos analizando si los resultados obtenidos con la muestra se generalizan a la población de la que procede. Para ello se puede dividir la muestra en varias partes en las que el modelo se vuelve a estimar y se comparan los resultados. Otras técnicas que se pueden utilizar aquí son las técnicas de remuestreo (jackknife y bootstrap).

Resumiendo, podemos decir que el análisis multivariante es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariantes en el sentido de que hay varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado.

### 7.5.3 Proceso para la definición del modelo matemático

Para definir el modelo matemático que corresponde a nuestra investigación tenemos que seguir una serie de pautas encaminadas a realizar el estudio previo antes de la obtención del modelo. La metodología del proceso empleada para la obtención del modelo la definimos en la tabla siguiente:

DIAGRAMA METODOLOGICO DEL PROCESO		
PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DE LOS COSTES (DATOS INICIALES)		
REPRESENTACION GRAFICA DE LOS COSTES (DATOS)		
Diagrama de barras	Diagrama de dispersión	Diagrama de cajas y bigotes
ESTUDIO DE VALORES ANOMALOS (GRAFICOS DE CONTROL)		
INTERPRETACION DE DATOS DEFINITIVOS		
Prueba de Kolmogorov-Smirnov		Prueba de Shapiro-Wilk
ANALISIS FACTORIAL		
Prueba de Bartlett		Prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)
ANALISIS DE LOS MODELOS MATEMATICOS		
Análisis univariante		Análisis mínimos cuadrados ponderados

Tabla 86. Diagrama metodológico del proceso

#### 7.5.3.1 Datos Iniciales

La definición del modelo matemático parte de los resultados obtenidos en la investigación realizada con anterioridad y referida al cálculo del coste de la desalinización de agua de mar mediante O.I.. Presentamos la siguiente tabla con todos los datos resumidos y que son los que vamos a estudiar.

Q-Fc	Amort	Reactivos	F. Cartucho	Rep. Membranas	Personal	Mant	Medioambiental	Energético	Total
500-42	14,78	3,17	0,24	1,19	79,58	4,7	13,73	47,05	164,72
500-45	14,60	3,01	0,22	1,10	79,58	4,7	13,73	47,67	164,61
1.000-42	12,54	3,14	0,23	1,17	39,79	4,0	7,68	44,21	112,86
1.000-45	12,08	2,98	0,22	1,08	39,79	3,8	7,68	45,19	112,82
2.000-42	12,33	3,11	0,23	1,15	19,90	3,8	5,24	43,03	88,79
2.000-45	11,67	2,95	0,22	1,07	19,90	3,6	5,24	44,25	88,90
5.000-42	10,31	3,08	0,23	1,05	8,27	3,2	2,56	42,61	71,31
5.000-45	9,9	2,92	0,22	0,98	8,27	3,0	2,56	43,47	71,32
7.500-42	9,8	2,96	0,22	0,93	6,25	3,0	1,80	42,60	67,56
7.500-45	9,5	2,80	0,21	0,87	6,25	3,0	1,80	43,46	67,89
10.000-42	9,8	2,93	0,22	0,91	5,32	3,0	1,46	42,35	65,99
10.000-45	9,5	2,78	0,21	0,85	5,32	2,9	1,46	43,20	66,22
12.000-42	9,6	2,90	0,22	0,89	5,01	3,0	1,45	42,35	65,42
12.000-45	9,3	2,75	0,20	0,83	5,01	2,9	1,45	43,08	65,52
15.000-42	9,4	2,87	0,21	0,87	4	3,0	1,21	42,35	63,91
15.000-45	9,2	2,72	0,20	0,81	4	2,9	1,21	43,08	64,12

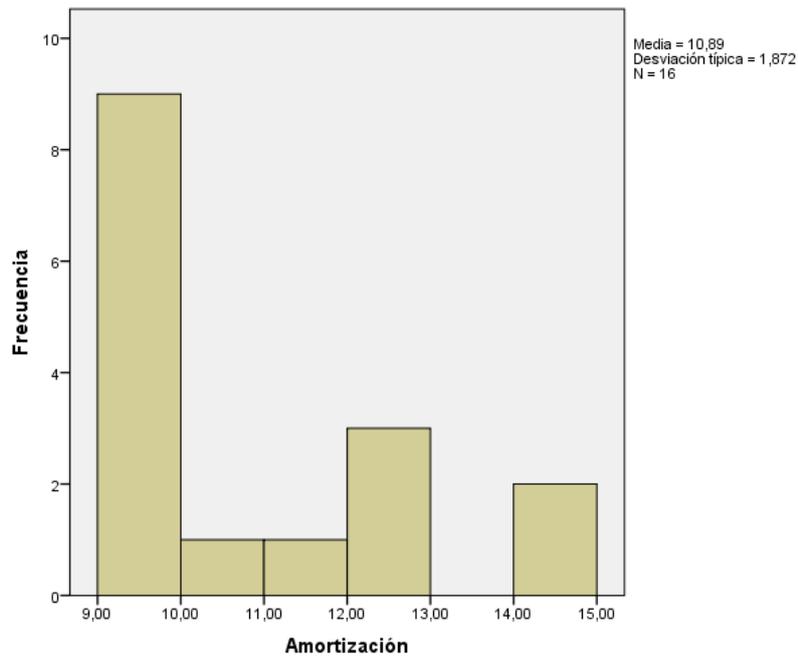
Tabla 87. Resultados totales (c€/m<sup>3</sup>)

### 7.5.3.2 Representación gráfica de datos

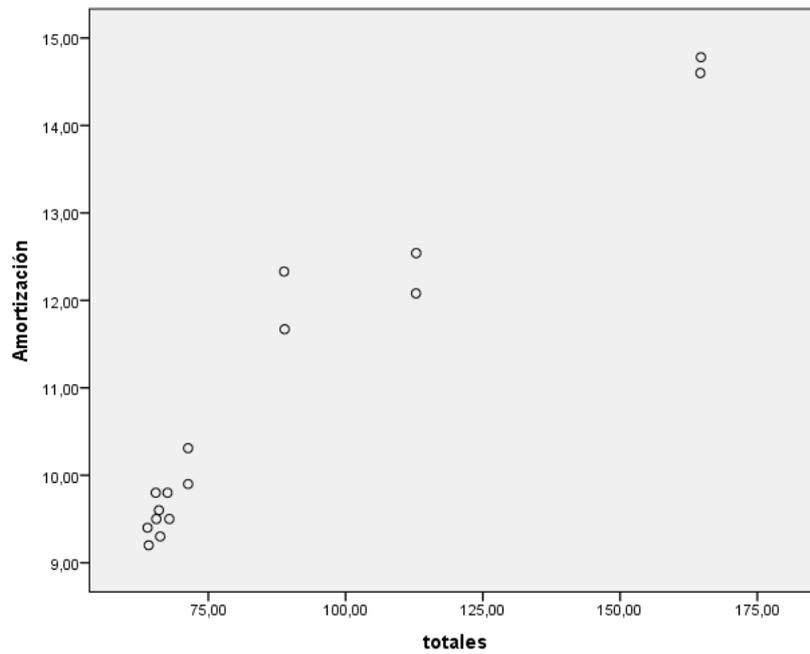
A partir de los datos pasamos a representar gráficamente los mismos. Para ello hemos utilizado el programa SPSS, versión 20, [166], que es una herramienta informática mediante la cual se pueden representar funciones estadísticas. Evidentemente, para utilizar el programa comentado, nos hemos basado en el libro de César Pérez López para poder dominar las técnicas estadísticas, [167]. Para cada coste vamos a representar los resultados en base a diagrama de barras, diagrama de dispersión y diagrama de cajas y bigotes, obteniendo algunos datos que van a ser importante para el estudio y posible eliminación de determinados valores.

#### a) Coste de Amortización

Respecto a la grafica 20 podemos observar que el coste de amortización no presenta simetría en su distribución, lo cual nos puede llevar a pensar inicialmente que no corresponde con una distribución normal. Con respecto al diagrama de caja y bigotes, grafica 22 no se observan valores anormalmente grandes en lo que a la amortización se refiere.



Grafica 20. Diagrama de barras. Coste de amortización



Grafica 21. Diagrama de dispersión. Coste de amortización

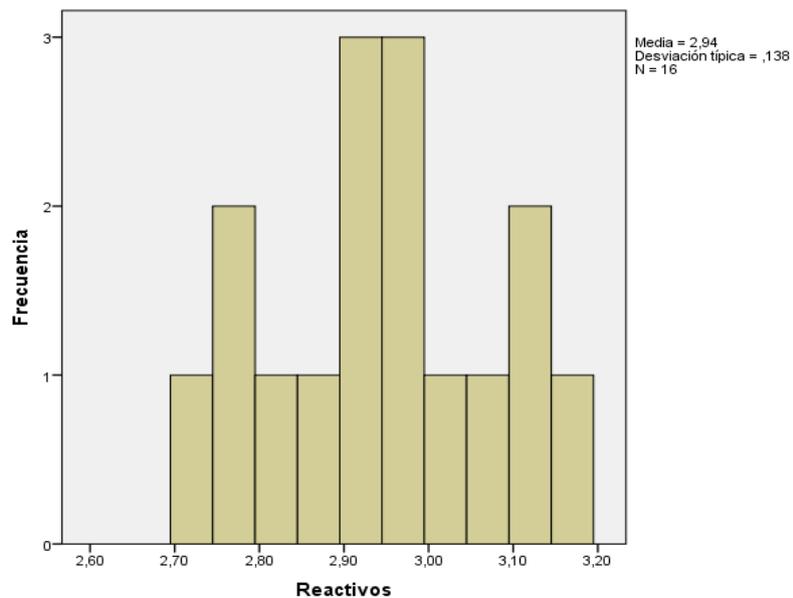
También del diagrama de caja y bigotes observamos que en sí los valores correspondientes a la amortización son indescriptibles entre ellos frente a los costes totales.



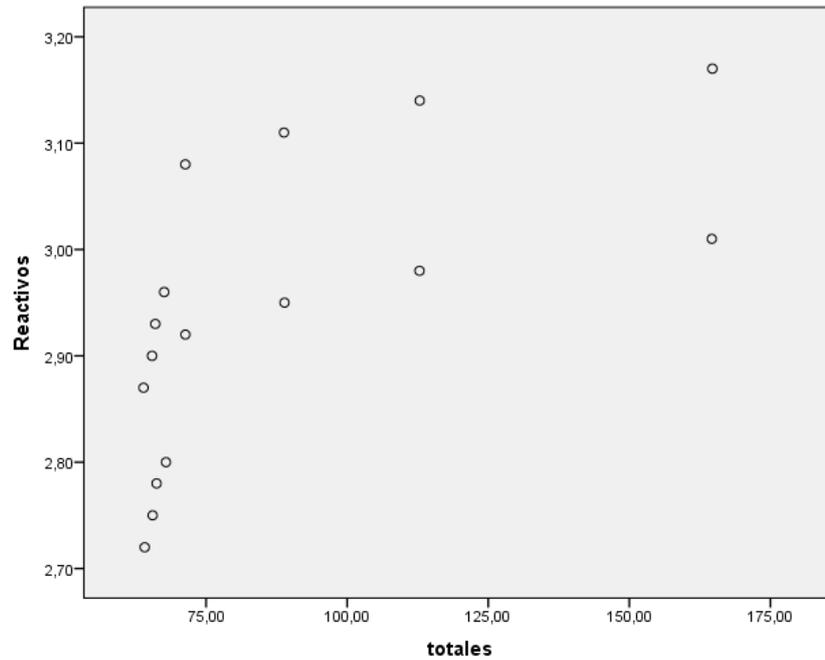
Grafica 22. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de amortización

Observamos para el coste de amortización, según las 3 graficas anteriores, que presenta una media de valor 10,89 €/m<sup>3</sup> y que existen entorno a 6 valores que están bastante alejados de dicha media, grafica 21. También podemos comentar que este coste tiene aparentemente un peso importante con respecto al coste total.

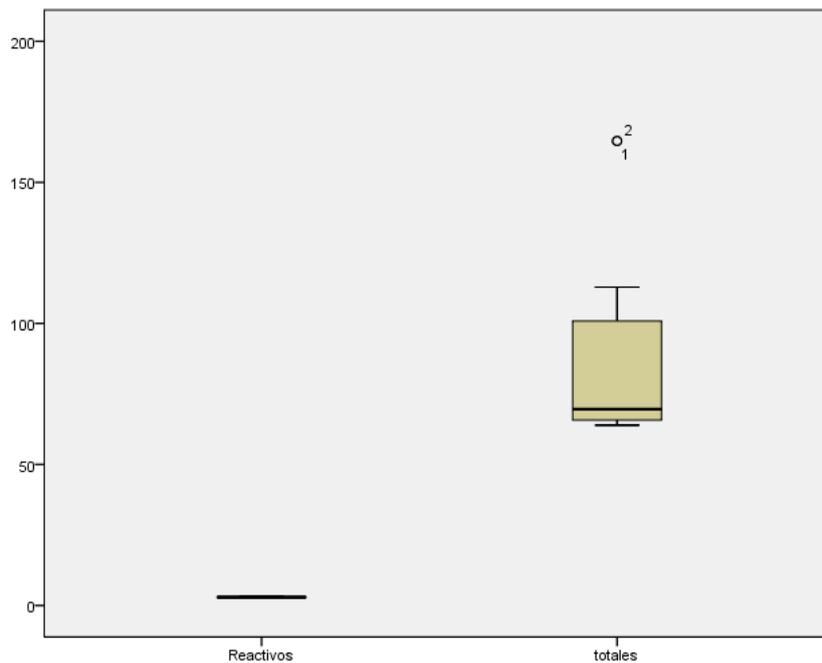
### b) Coste de consumo de reactivos



Grafica 23. Diagrama de barras. Coste de consumo de reactivos



Grafica 24. Diagrama de dispersión. Coste de consumo de reactivos

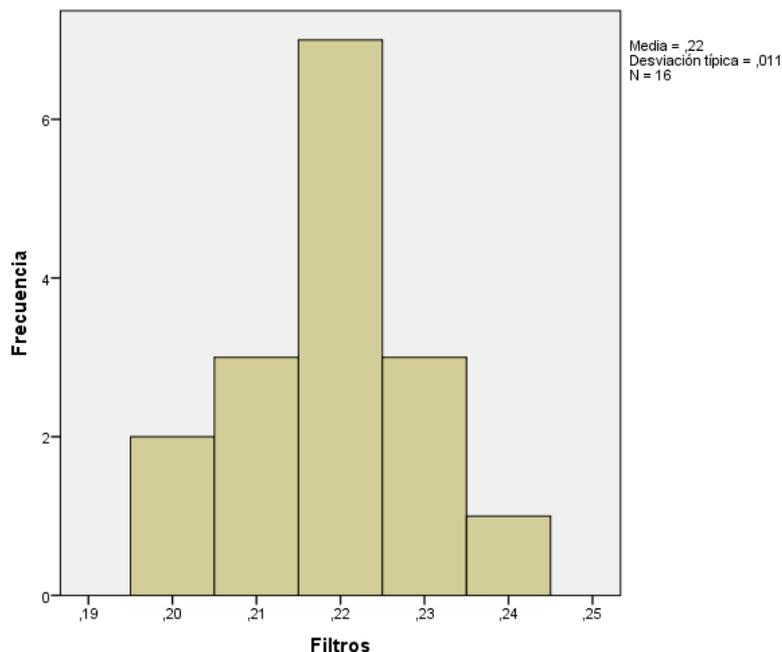


Grafica 25. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de consumo de reactivos

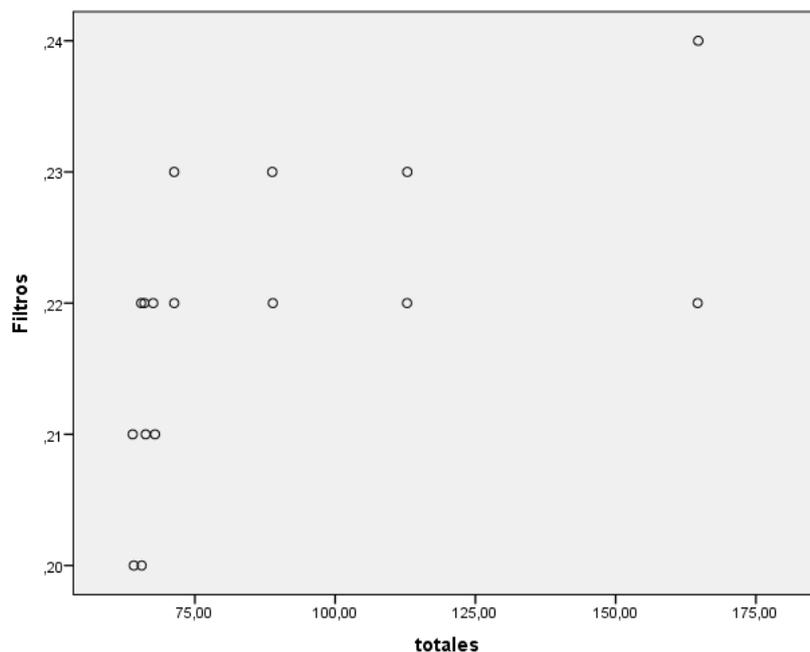
El consumo de reactivos presenta una media de 2,94 €/m<sup>3</sup> observando en las gráficas anteriores que existen valores muy dispersos entre ellos. Respecto a la importancia de este coste, vemos que es escasa con respecto al coste total. Respecto a la grafica 23 observamos que se presenta una simetría en su distribución, lo que implica que puede corresponder con una

distribución normal. Con respecto al diagrama de caja y bigotes, grafica 25, no se observan valores anormalmente grandes.

**c) Coste de reposición de filtros de cartucho**

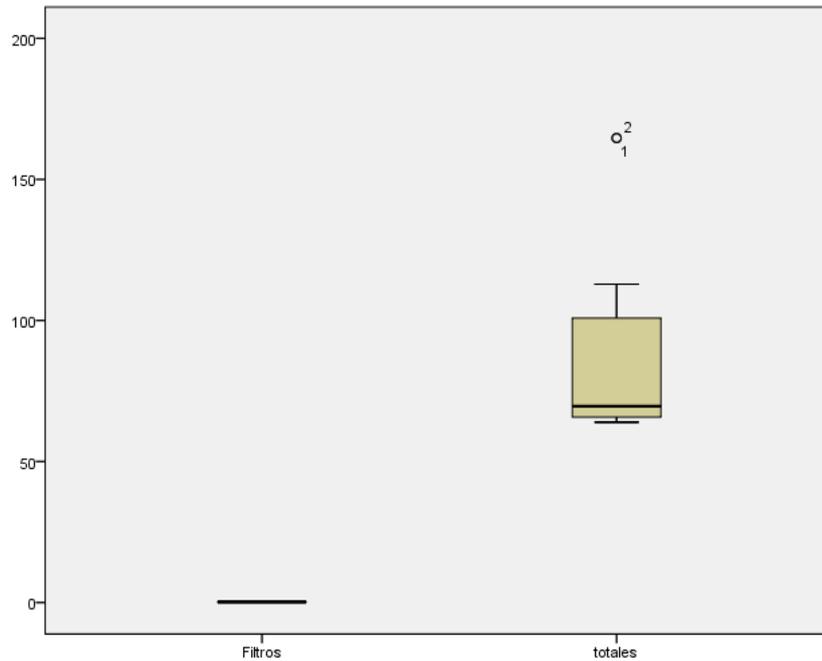


Grafica 26. Diagrama de barras. Coste de reposición de filtros de cartucho



Grafica 27. Diagrama de dispersión. Coste de reposición de filtros de cartucho

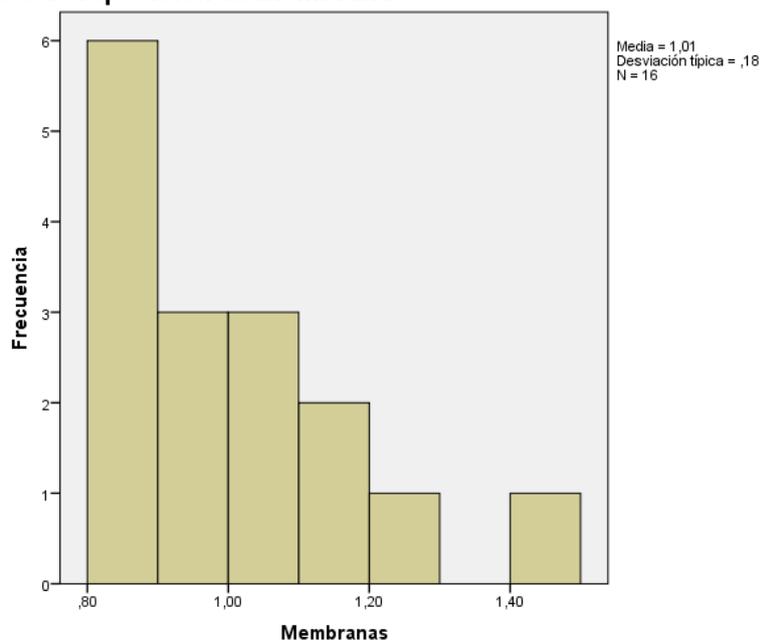
Observamos en la grafica 26 que nos informa de simetría en su distribución, lo que corresponde a una distribución normal. El diagrama de caja y bigotes, grafica 28, nos informa que no existen valores anormalmente grandes.



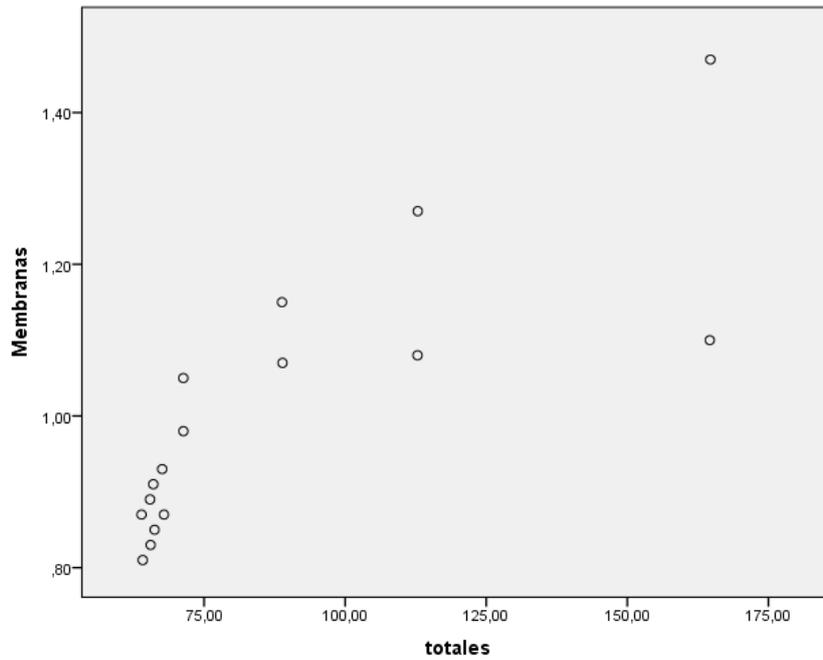
Grafica 28. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de reposición de filtros de cartucho

El coste de reposición de filtros de cartucho, presenta una media de 0,22 €/m<sup>3</sup>, lo que nos da ya un dato importante en cuanto a la importancia en relación al coste total. Podemos observar que casi la totalidad de los valores están muy dispersos y que su contribución en el coste total es mínima.

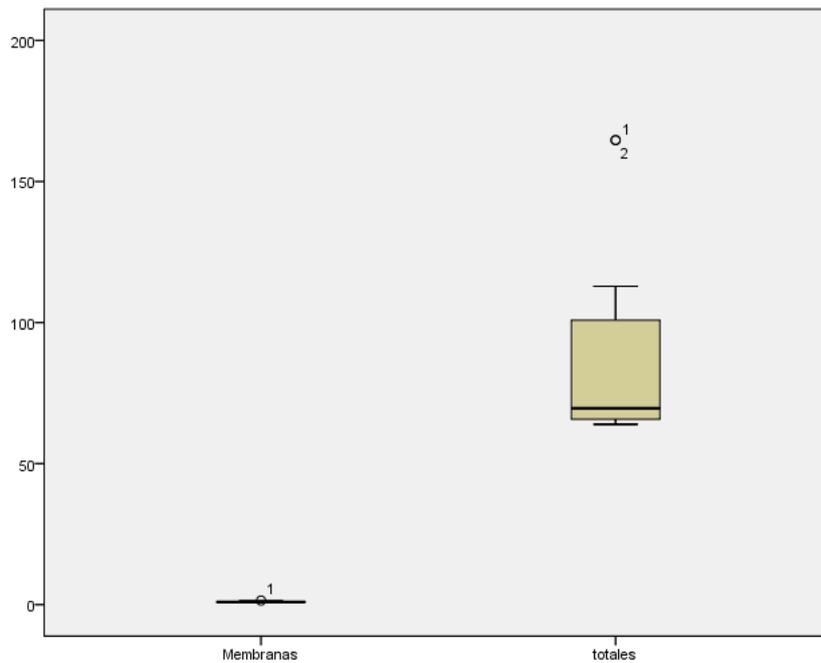
**d) Coste de reposición de membranas**



Grafica 29. Diagrama de barras. Coste de reposición de membranas



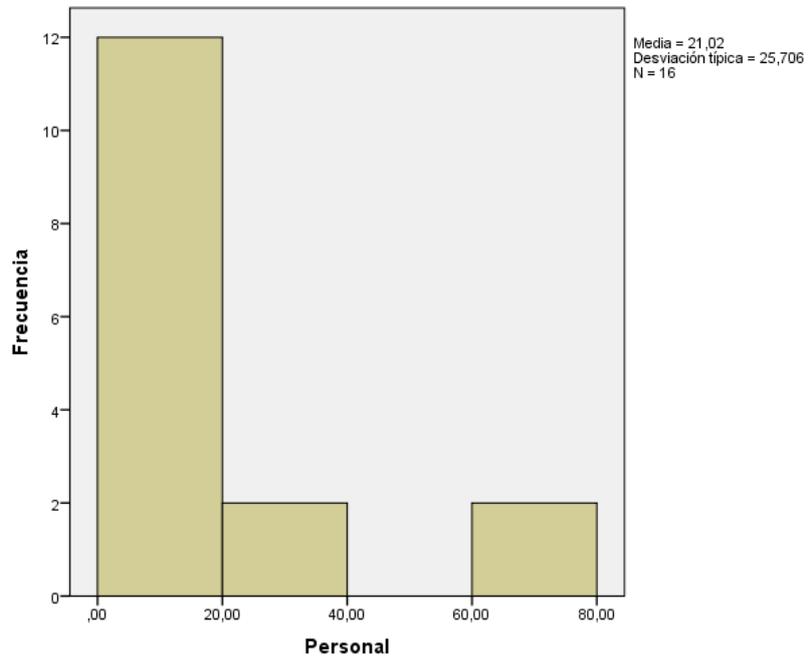
Grafica 30. Diagrama de dispersión. Coste de reposición de membranas



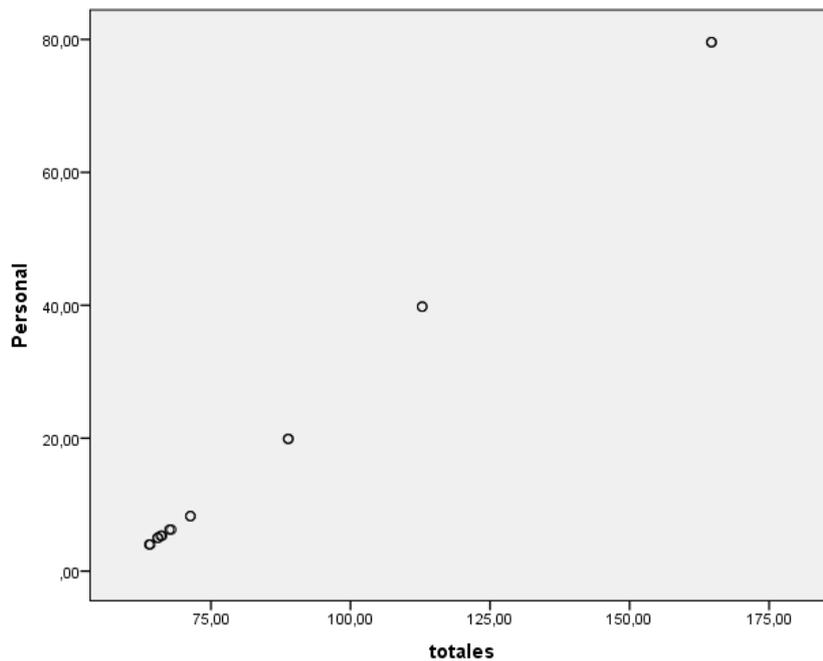
Grafica 31. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de reposición de membranas

Al igual que el coste anterior, observamos en las gráficas que el coste de reposición de membranas no es significativo con respecto al coste total. Presenta una media de 1,01 €/m<sup>3</sup> y el grado de dispersión es medio. La grafica 29 nos representa una distribución asimétrica y la grafica 31 nos indica la presencia de un valor anormalmente grande.

e) Coste de personal

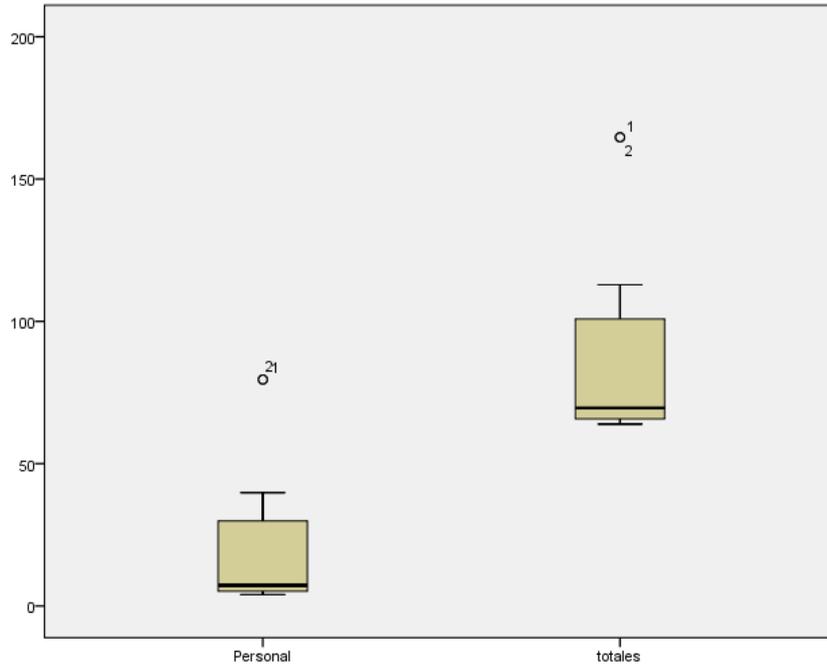


Gráfica 32. Diagrama de barras. Coste de personal



Gráfica 33. Diagrama de dispersión. Coste de personal

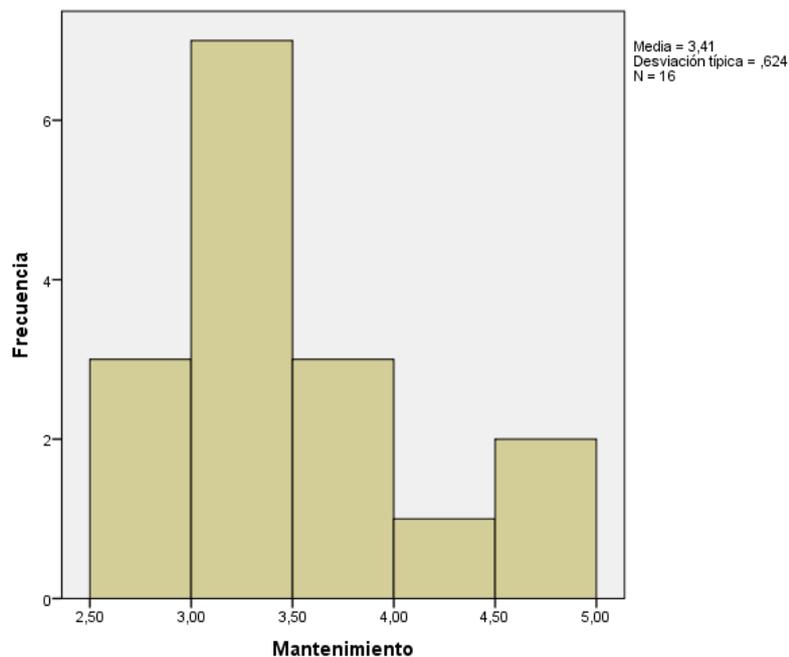
La gráfica 32 en su diagrama de barras o histograma nos muestra una asimetría, mientras que de la gráfica 34 podemos confirmar la existencia de 2 valores anormalmente grandes.



Grafica 34. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de personal

El coste de personal según las gráficas tiene una media de 21,02 €/m<sup>3</sup>, vemos que su valor es importante con respecto al coste total y también se observa que existe una gran concentración de valores en una determinada zona. Es un coste a tener en cuenta.

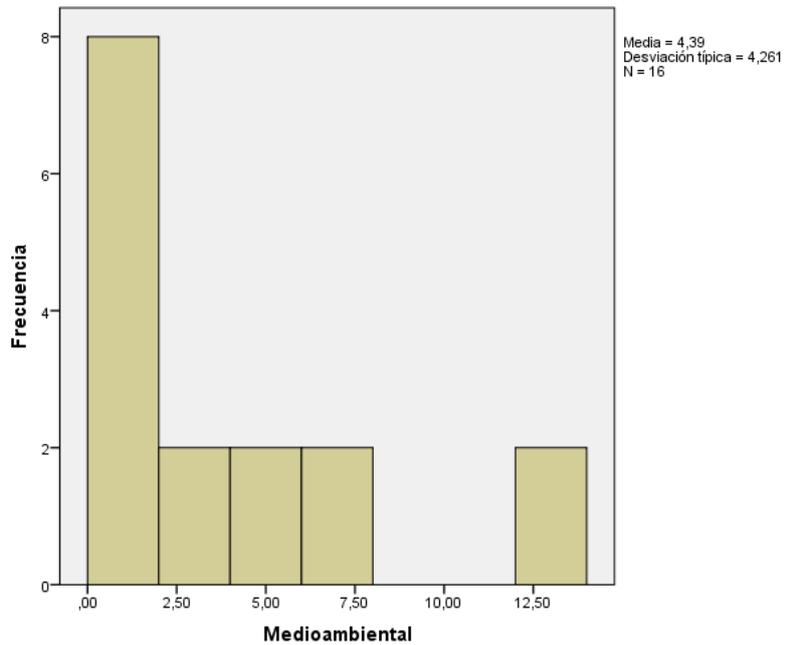
#### f) Coste de mantenimiento



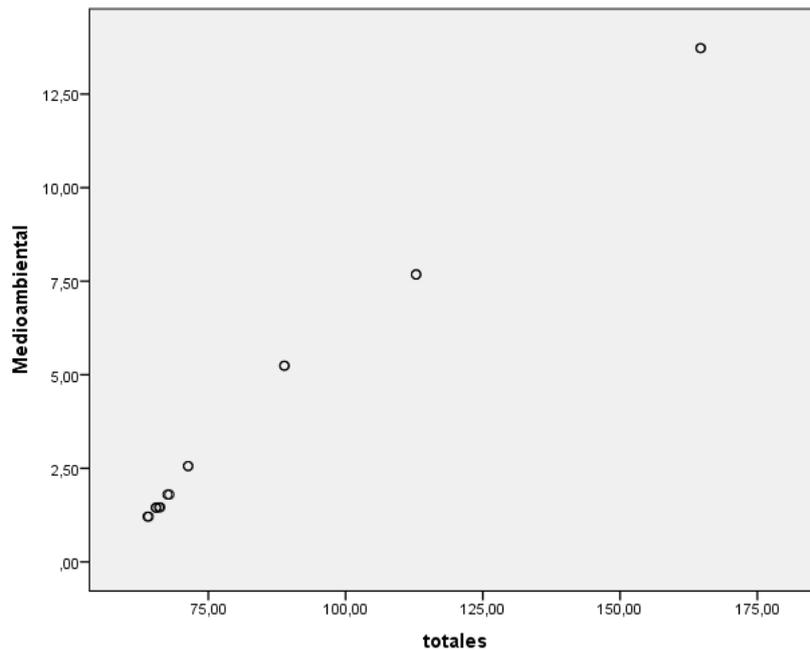
Grafica 35. Diagrama de barras. Coste de mantenimiento



**g) Coste medioambiental**

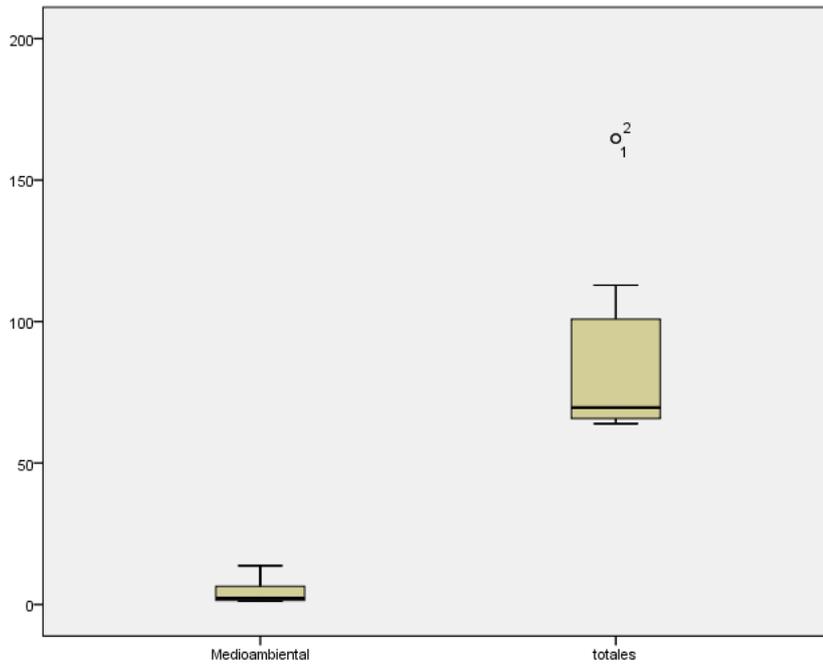


Grafica 38. Diagrama de barras. Coste medioambiental



Grafica 39. Diagrama de dispersión. Coste medioambiental

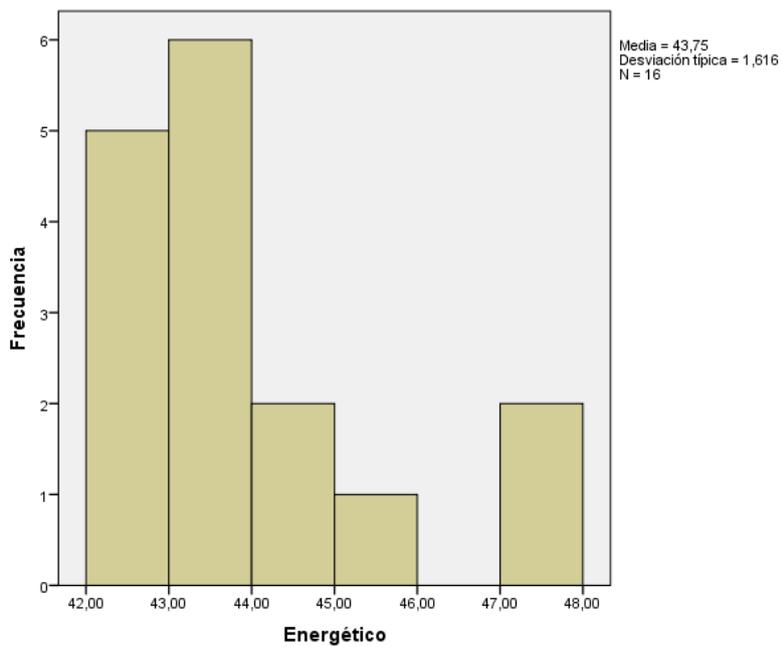
El histograma de la grafica 38 nos informa de asimetría con valores en 2 sectores. El diagrama de dispersión, grafica 39, nos muestra entre 3 y 4 valores dispersos, mientras que la figura 40 nos informa de la no existencia de valores anormalmente grandes.



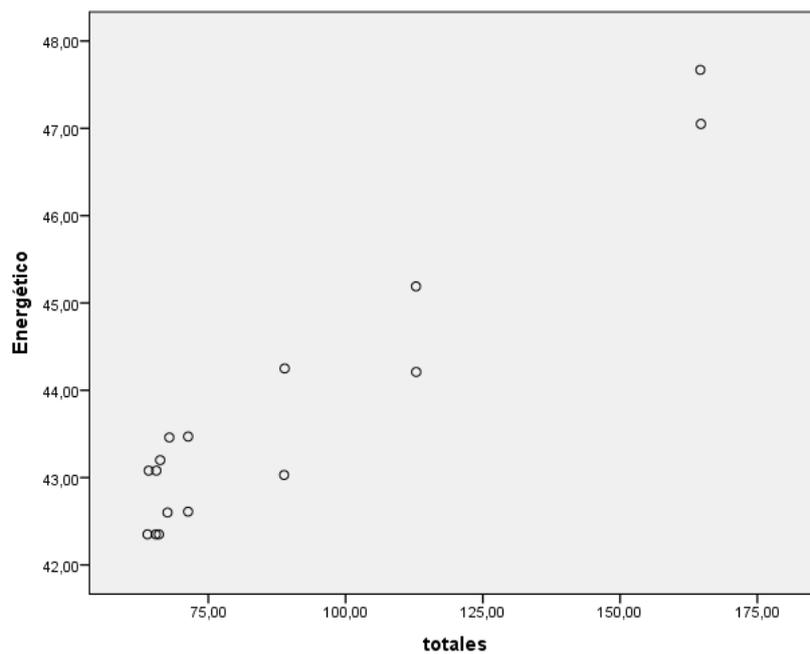
Grafica 40. Diagrama de cajas y bigotes. Coste medioambiental

El coste medioambiental presenta una media de 4,39 €/m<sup>3</sup>, si bien se puede observar que existen determinados valores muy por encima de esta media. Aporta al coste total valores medios.

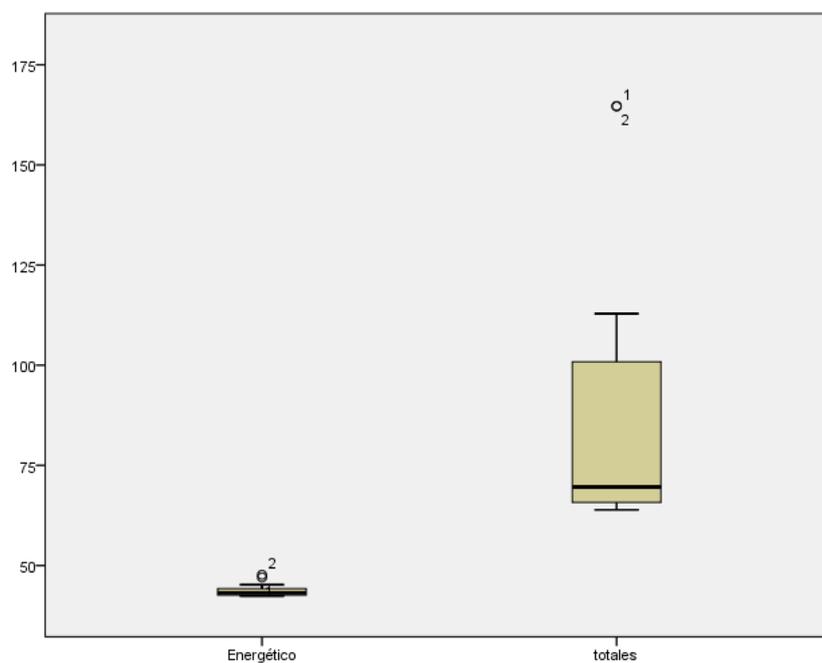
#### h) Coste de consumo energético



Grafica 41. Diagrama de barras. Coste del consumo energético



Grafica 42. Diagrama de dispersión. Coste del consumo energético



Grafica 43. Diagrama de cajas y bigotes. Coste del consumo energético

En función de la gráfica 41 se observa una clara asimetría del coste del consumo energético. La grafica 43, de caja y bigotes nos muestra que existen 2 valores anormalmente grandes para el coste en sí. De la grafica de dispersión aparentemente entendemos que existe una gran dispersión de los valores, aunque también se observa que es un de los costes más homogéneos.

El coste referente al consumo energético según se observa en las graficas es el que más afecta al coste total, con una media de 43,75 €/m<sup>3</sup>, observando que salvo 6 valores, el resto están concentrados en una zona.

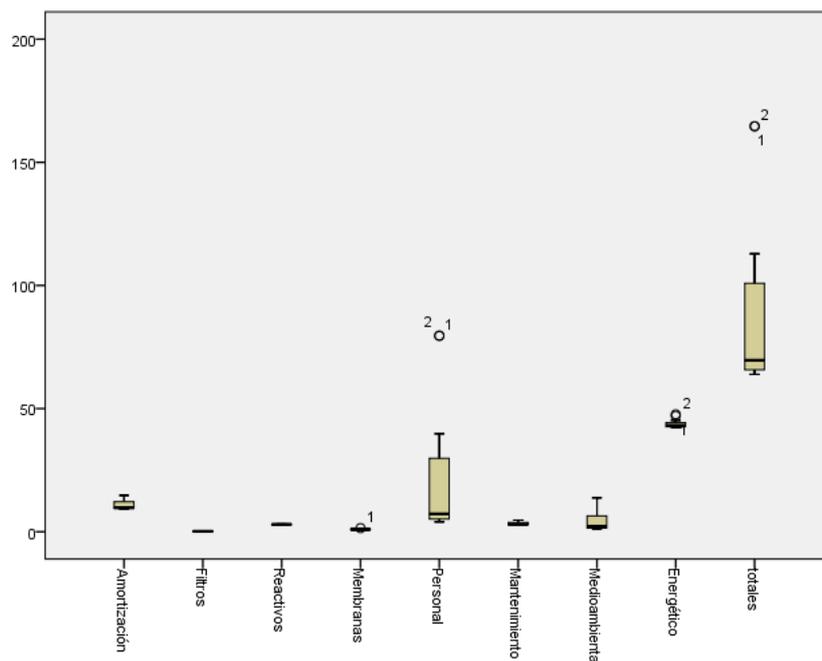
A continuación presentamos la tabla resumen y un diagrama de cajas y bigotes donde podemos apreciar que el coste de amortización, personal y consumo energético son los que mas afectan al coste total, lo que nos da ya una idea de los posibles valores anómalos en cuanto al estudio final.

**Resumen del procesamiento de los casos**

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Amortización	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Filtros	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Reactivos	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Membranas	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Personal	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Mantenimiento	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Medioambiental	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Energético	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
<b>totales</b>	<b>16</b>	<b>100,0%</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>16</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 88. Resumen del procesamiento de los casos

Con respecto a la grafica 44 también se puede observar que en los costes totales se presentan 2 valores anormalmente grandes y nos da una idea clara de la situación de los costes en referencia al coste total.



Gráfica 44. Diagrama de cajas y bigotes. Totalidad de costes

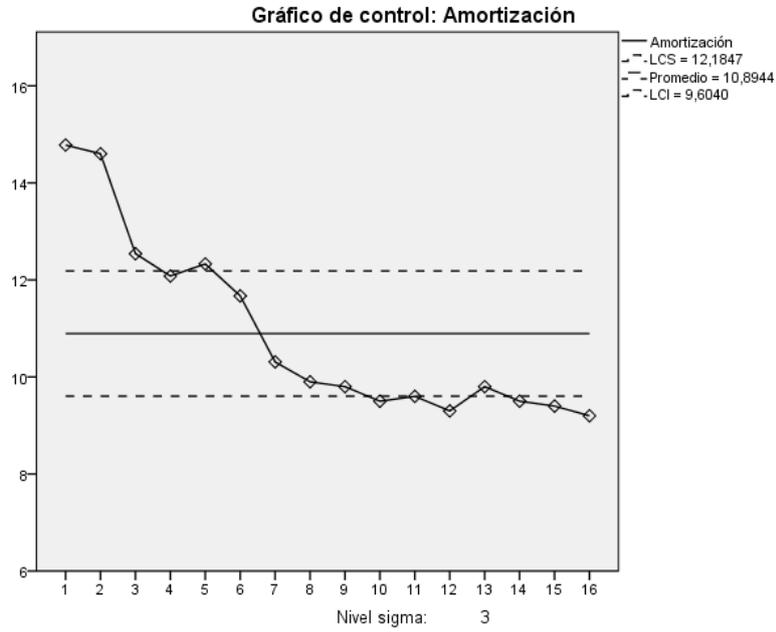
### 7.5.3.3 Estudio de valores anómalos

Para estudiar los posibles valores que pueden ser anómalos para nuestro modelo, además de la información obtenida en el apartado anterior realizamos unos gráficos de control para cada coste para poder asegurarnos de aquellos valores que podríamos retirar del estudio.

Dichos gráficos quedan definidos por dos líneas horizontales discontinuas que nos definen los límites superiores e inferiores de control y por una línea horizontal continua que nos define el valor medio de la variable. Los valores que nos quedan fuera de los límites de control son los valores atípicos y que se podrían despreciar para obtener una información adecuada.

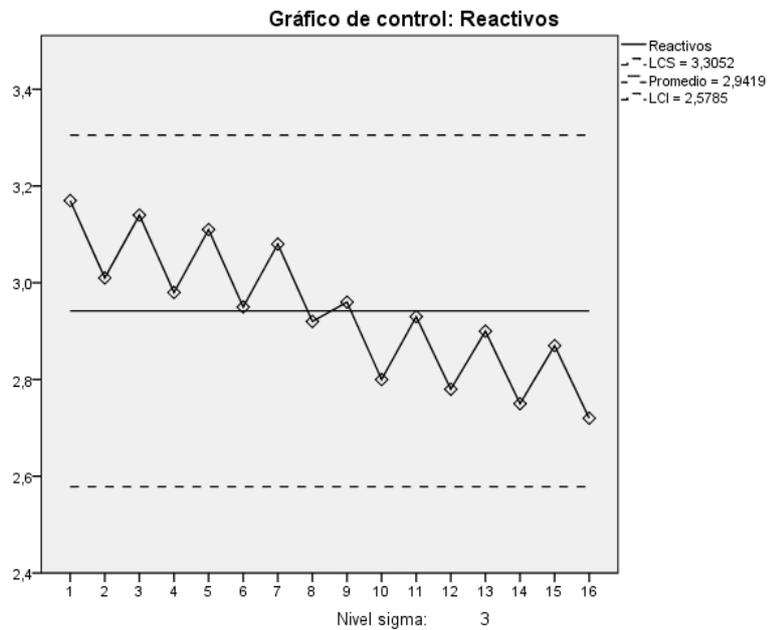
Como consecuencia de lo anterior, la grafica 45 nos presenta 7 valores atípicos mientras que las graficas 46 y 47 son todos correctos no existiendo atipicidad. Las graficas 48 y 52 presentan 2 valores atípicos en contraposición a las graficas 49, 50, 51 y 53 que presentan 12 valores, lo que nos lleva a una gran atipicidad. Es importante hacer notar que dichos valores los retiraríamos en caso de querer obtener una primera aproximación de costes y una homogeneidad completa respecto de cada coste. Para obtener el coste exacto, evidentemente utilizamos la totalidad de los costes y valores investigados en la T.D.

a) Coste de Amortización



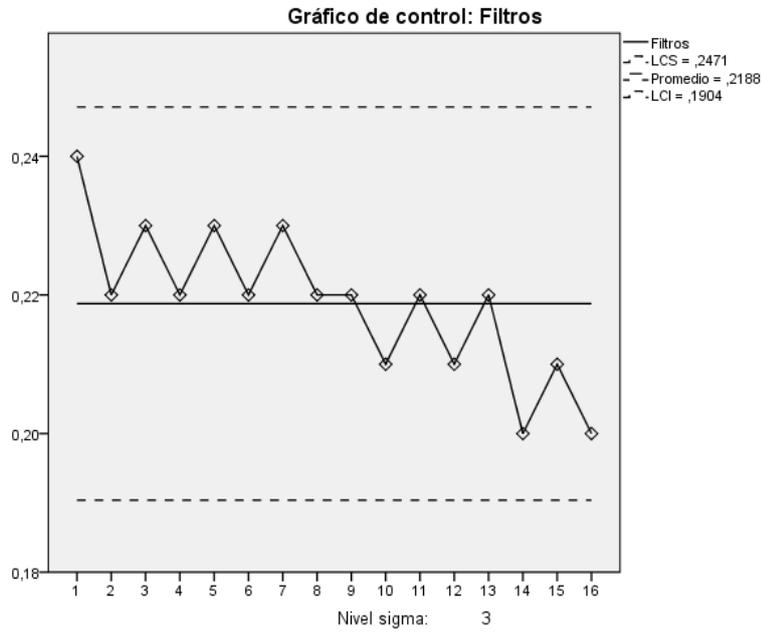
Gráfica 45. Gráfico de control. Coste de Amortización

b) Coste de consumo de reactivos



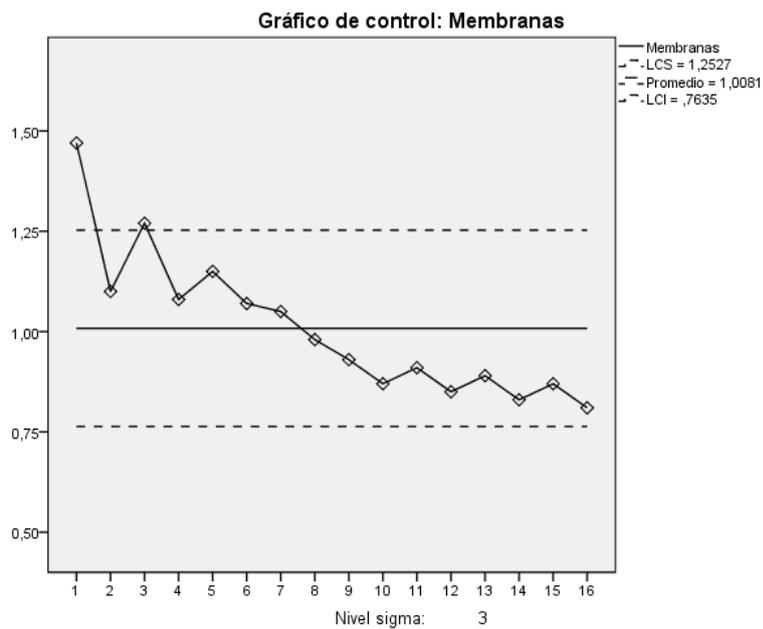
Gráfica 46. Gráfico de control. Coste de consumo de reactivos

c) Coste de reposición de filtros de cartucho



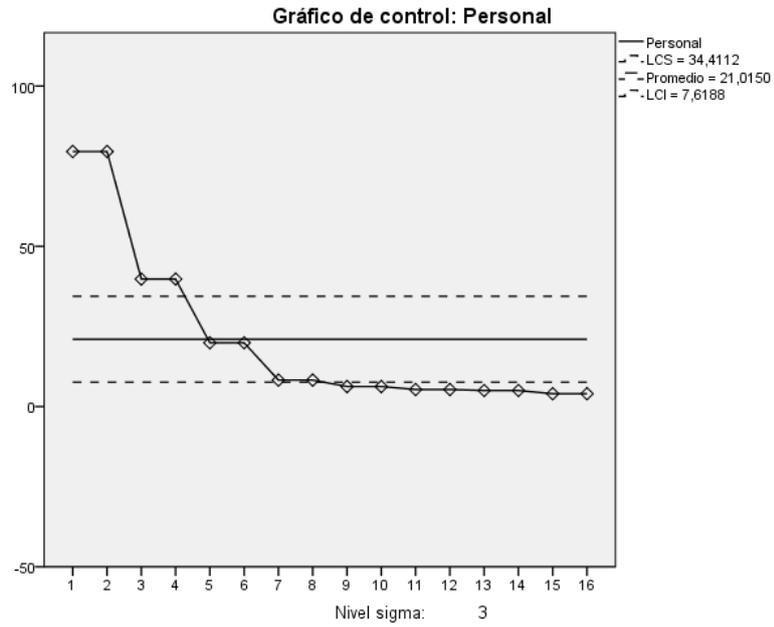
Gráfica 47. Gráfico de control. Coste de reposición de filtros de cartucho

d) Coste de reposición de membranas



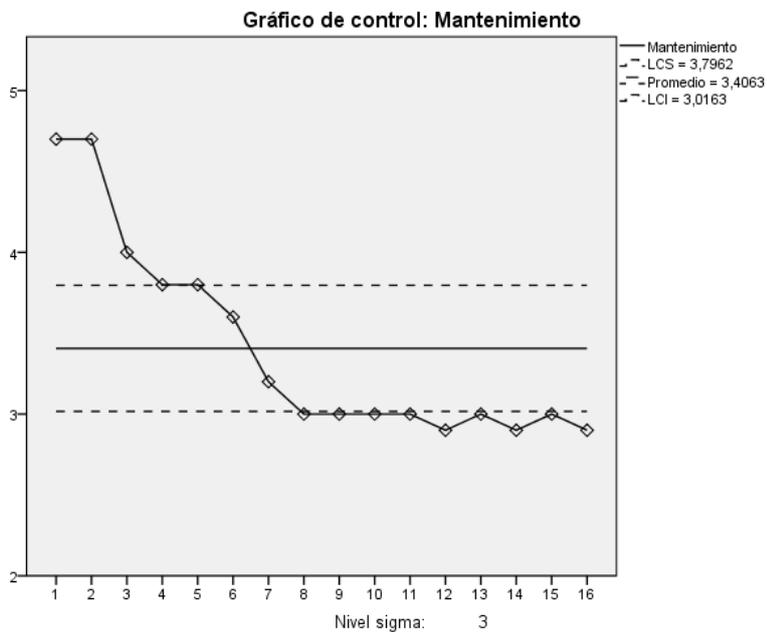
Gráfica 48. Gráfico de control. Coste de reposición de membranas

e) Coste de personal



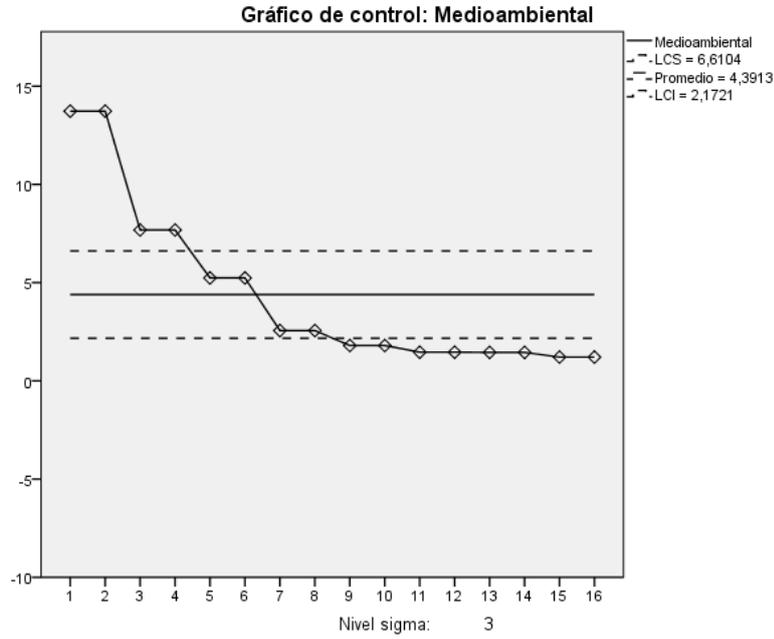
Gráfica 49. Gráfico de control. Coste de personal

f) Coste de mantenimiento



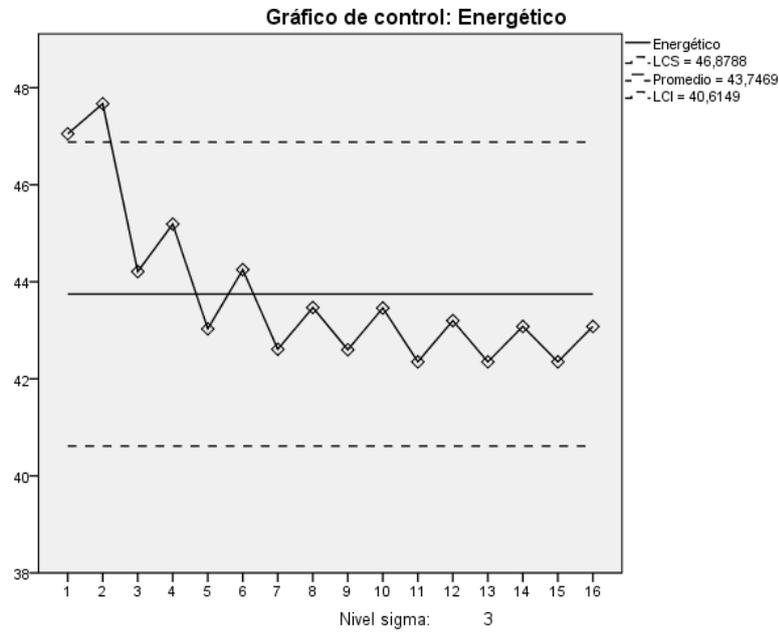
Gráfica 50. Gráfico de control. Coste de mantenimiento

**g) Coste medioambiental**



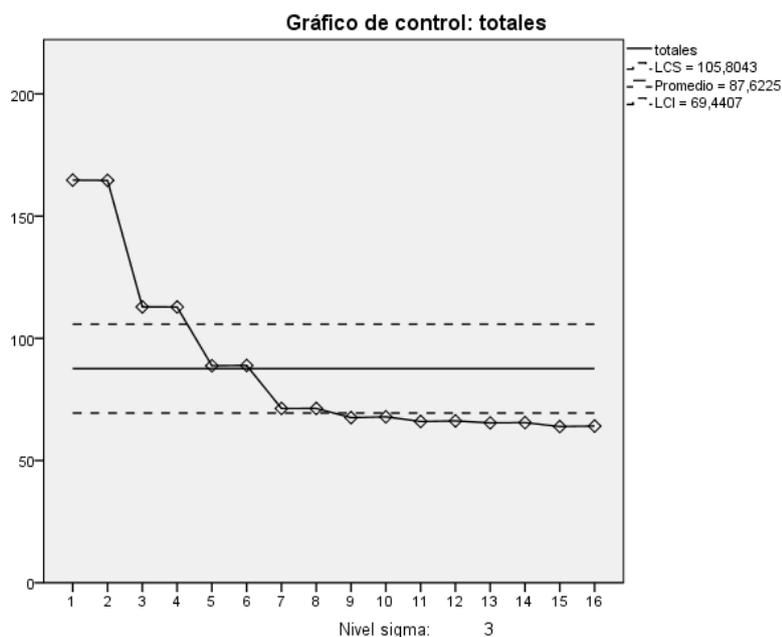
Gráfica 51. Gráfico de control. Coste medioambiental

**h) Coste del consumo energético**



Gráfica 52. Gráfico de control. Coste del consumo energético

### i) Coste Total



Gráfica 53. Gráfico de control. Costes totales

De las nueve gráficas correspondiente a los gráficos de control de cada coste, y con los datos recogidos anteriormente, podemos asegurar que los costes que afectan fundamentalmente al coste total son el coste de amortización, el coste de personal y el coste del consumo energético y que por la dispersión, los correspondiente a 500, 1.000 y 2.000 m<sup>3</sup>/día no son adecuados para nuestro estudio.

#### 7.5.3.4 Datos definitivos

Como consecuencia de lo estudiado en los apartados anteriores, nos podríamos quedar para nuestro estudio con 3 tipos de costes que son los representativos y con un caudal que va de los 5.000 hasta los 15.000 m<sup>3</sup>/día. La tabla 89 expresa los datos en c€.

Q-Fc	Amort.	Personal	Energético	Total
5.000-42	10,31	8,27	42,61	71,31
5.000-45	9,9	8,27	43,47	71,32
7.500-42	9,8	6,25	42,60	67,56
7.500-45	9,5	6,25	43,46	67,89
10.000-42	9,8	5,32	42,35	65,99
10.000-45	9,5	5,32	43,20	66,22
12.000-42	9,6	5,01	42,35	65,42
12.000-45	9,3	5,01	43,08	65,52
15.000-42	9,4	4	42,35	63,91
15.000-45	9,2	4	43,08	64,12

Tabla 89. Datos representativos y definitivos

### 7.5.3.5 Pruebas de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk

A continuación, a los costes definidos con anterioridad como fundamentales, en la tabla 89, con respecto al coste total le realizaremos las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para poder observar si la distribución es normal, así como al coste total. El contraste de Kolmogorov-Smirnov es un test para bondad de ajuste, se aplica sólo a variables continuas y trata de medir el ajuste entre la función empírica y la de distribución de una muestra.

Presentamos a continuación las tablas correspondientes a los estadísticos descriptivos y la prueba de Kolmogórov-Smirnov para cada uno de los costes fundamentales y con los valores presentados en la tabla 89.

#### a) Coste de amortización

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
<b>Amortización</b>	10	9,6310	0,32905	9,20	10,31	9,3750	9,5500	9,8250

Tabla 90. Estadísticos descriptivos. Coste de amortización

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		Amortización
N		10
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	9,6310
	Desviación típica	0,32905
Diferencias más extremas	Absoluta	0,155
	Positiva	0,155
	Negativa	-0,096
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,489
Sig. asintót. (bilateral)		0,970

Tabla 91. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Coste de amortización

#### b) Coste de personal

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
<b>Personal</b>	10	5,7700	1,51975	4,00	8,27	4,7575	5,3200	6,7550

Tabla 92. Estadísticos descriptivos. Coste de personal

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Personal
N		10
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	5,7700
	Desviación típica	1,51975
Diferencias más extremas	Absoluta	0,216
	Positiva	0,216
	Negativa	-0,150
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,684
Sig. asintót. (bilateral)		0,737

Tabla 93. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Coste de personal

### c) Coste del consumo energético

Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
<b>Energético</b>	10	42,8550	0,45395	42,35	43,47	42,3500	42,8450	43,2650

Tabla 94. Estadísticos descriptivos. Coste del consumo energético

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Energético
N		10
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	42,8550
	Desviación típica	0,45395
Diferencias más extremas	Absoluta	0,205
	Positiva	0,205
	Negativa	-0,190
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,649
Sig. asintót. (bilateral)		0,793

Tabla 95. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Coste del consumo energético

### d) Coste total

Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
<b>Totales</b>	10	66,9260	2,63412	63,91	71,32	65,0950	66,1050	68,7450

Tabla 96. Estadísticos descriptivos. Coste total

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Totales
N		10
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	66,9260
	Desviación típica	2,63412
Diferencias más extremas	Absoluta	0,206
	Positiva	0,206
	Negativa	-0,152
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,650
Sig. asintót. (bilateral)		0,791

Tabla 97. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Coste total

Una vez realizado lo anterior, procedemos a realizar las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, con los estimadores de Hubera, bponderado de Tukey, de Hampel y la Onda de Andrews, realizando las pruebas de normalidad y obteniendo los histogramas, gráficos de normales y diagramas de cajas y bigotes correspondientes. Presentamos a continuación las tablas y graficas correspondientes a cada uno de los costes fundamentales. Podemos observar también las constantes de ponderación de los estimadores así como el contraste de Shapiro y Wilks que nos mide el ajuste de la muestra a una recta.

### a) Coste de amortización

Descriptivos			Estadístico	Error típ.
Amortización	Media		9,6310	0,10406
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	9,3956	
		Límite superior	9,8664	
	Media recortada al 5%		9,6172	
	Mediana		9,5500	
	Varianza		0,108	
	Desv. típ.		0,32905	
	Mínimo		9,20	
	Máximo		10,31	
	Rango		1,11	
	Amplitud intercuartil		0,45	
	Asimetría		0,815	0,687
	Curtosis		0,675	1,334

Tabla 98. Descriptivos. Coste de amortización

Para todos los costes que pertenecen a este apartado podemos observar que no existen valores perdidos, que los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad así como los diagramas representados muestran la normalidad de los datos.

Estimadores-M				
	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
<b>Amortización</b>	9,5911	9,5831	9,6026	9,5833

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 99. Estimadores M. Coste de amortización

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
Amortización	Mayores	1	1	10,31
		2	2	9,90
		3	3	9,80
		4	7	9,80
		5	5	9,60
	Menores	1	10	9,20
		2	6	9,30
		3	9	9,40
		4	8	9,50
		5	4	9,50

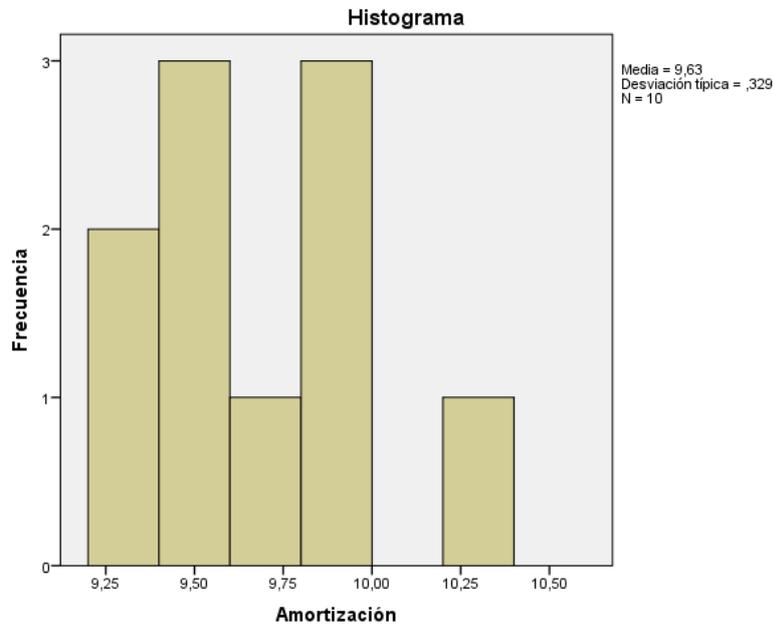
Tabla 100. Valores extremos. Coste de amortización

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Amortización</b>	0,155	10	0,200*	0,947	10	0,636

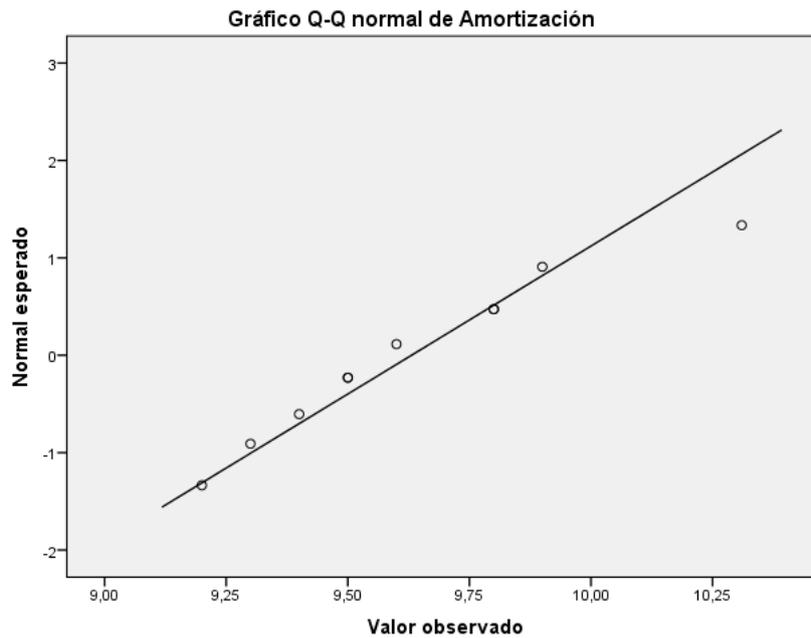
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 101. Pruebas de normalidad. Coste de amortización

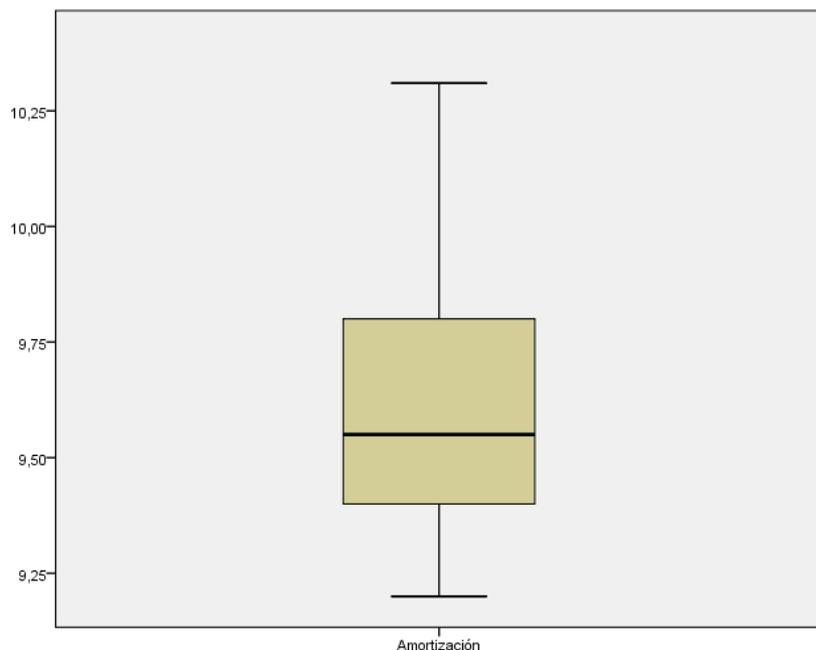


Gráfica 54. Histograma. Coste de amortización



Gráfica 55. Q-Q normal. Coste de amortización

Para el caso del coste de amortización, el histograma y la grafica Q-Q normal corroboran la normalidad de los mismos. La grafica 56 nos muestra la inexistencia de valores anómalos y la ligera asimetría hacia la izquierda de la variable contemplada.



Gráfica 56. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de amortización

**b) Coste de personal**

Descriptivos			Estadístico	Error típ.
Personal	Media		5,7700	0,48059
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	4,6828	
		Límite superior	6,8572	
	Media recortada al 5%		5,7294	
	Mediana		5,3200	
	Varianza		2,310	
	Desv. típ.		1,51975	
	Mínimo		4,00	
	Máximo		8,27	
	Rango		4,27	
	Amplitud intercuartil		2,00	
	Asimetría		0,764	0,687
	Curtosis		-0,305	1,334

Tabla 102. Descriptivos. Coste de personal

Estimadores-M				
	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Personal	5,5208	5,4398	5,5370	5,4430

Tabla 103. Estimadores M. Coste de personal

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
Personal	Mayores	1	1	8,27
		2	2	8,27
		3	3	6,25
		4	4	6,25
		5	5	5,32 <sup>a</sup>
	Menores	1	10	4,00
		2	9	4,00
		3	8	5,01
		4	7	5,01
		5	6	5,32 <sup>b</sup>

a. En la tabla de valores extremos mayores sólo se muestra una lista parcial de los casos con el valor 5,32.

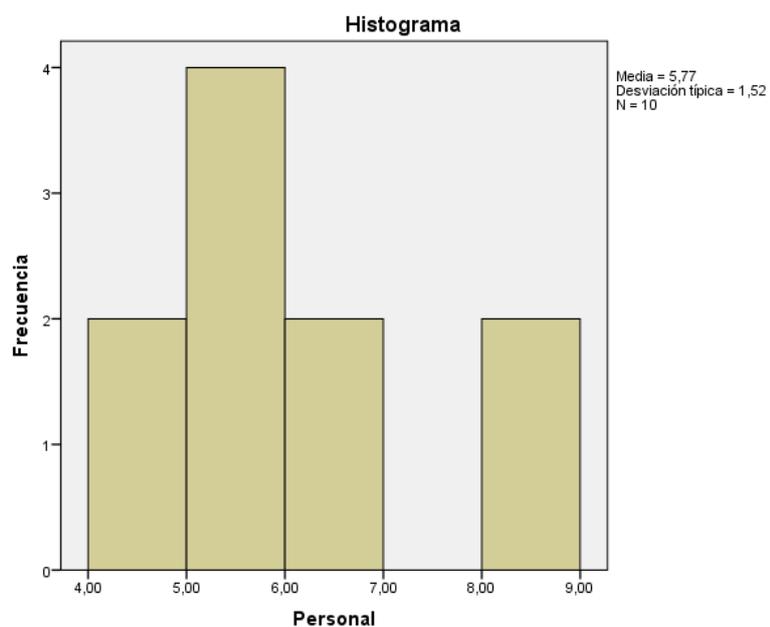
b. En la tabla de valores extremos menores sólo se muestra una lista parcial de los casos con el valor 5,32.

Tabla 104. Valores extremos. Coste de personal

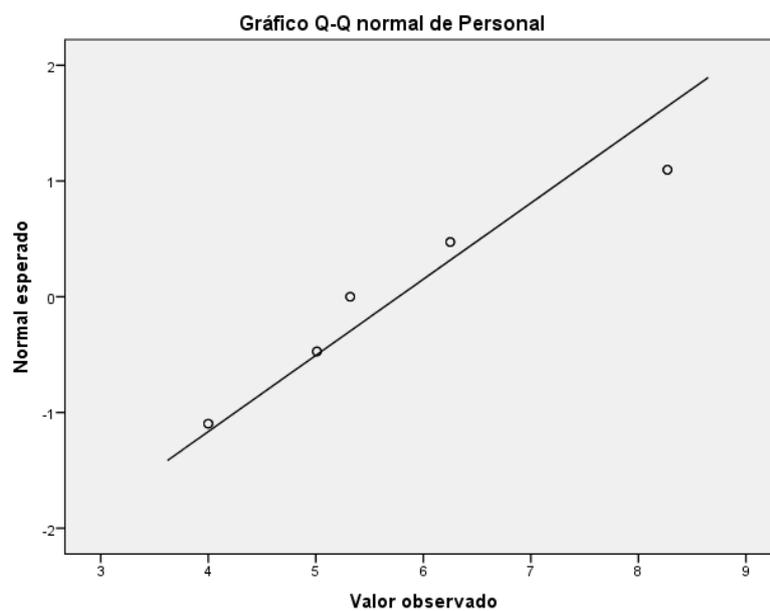
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Personal	0,216	10	0,200*	0,878	10	0,124

Tabla 105. Pruebas de normalidad. Coste de personal

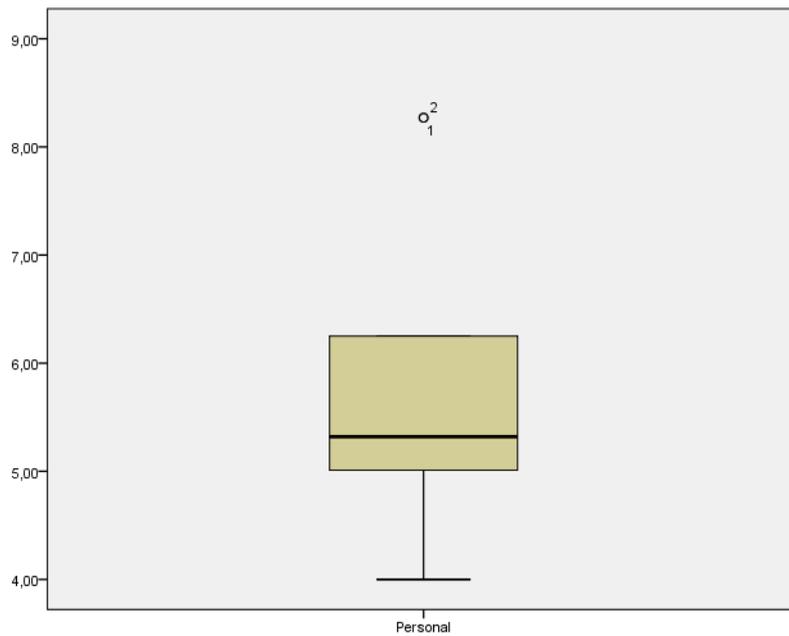
Para el caso del coste de personal, el histograma y la grafica Q-Q normal nos manifiestan la normalidad de los datos, si bien, la grafica 59 nos muestra la existencia de dos valores anómalos y una gran asimetría hacia la derecha de la variable contemplada.



Gráfica 57. Histograma. Coste de personal



Gráfica 58. Q-Q normal. Coste de personal



Gráfica 59. Diagrama de cajas y bigotes. Coste de personal

**c) Coste del consumo energético**

Descriptivos		Estadístico	Error típ.	
Energético	Media	42,8550	0,14355	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	42,5303	
		Límite superior	43,1797	
	Media recortada al 5%	42,8489		
	Mediana	42,8450		
	Varianza	0,206		
	Desv. típ.	0,45395		
	Mínimo	42,35		
	Máximo	43,47		
	Rango	1,12		
	Amplitud intercuartil	0,91		
	Asimetría	0,149	0,687	
	Curtosis	-1,773	1,334	

Tabla 106. Descriptivos. Coste del consumo energético

Estimadores-M				
	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Energético	42,8448	42,8480	42,8550	42,8480

Tabla 107. Estimadores M. Coste del consumo energético

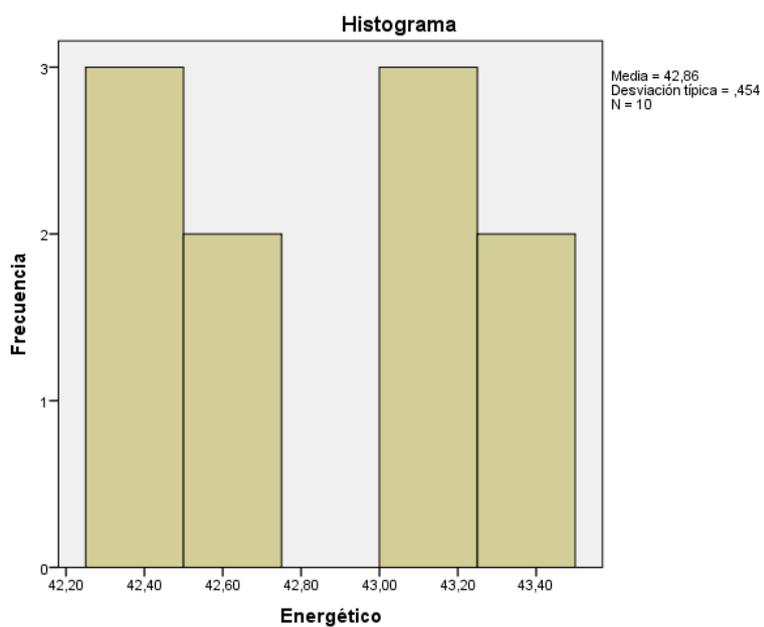
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
Energético	Mayores	1	2	43,47
		2	4	43,46
		3	6	43,20
		4	8	43,08
		5	10	43,08
	Menores	1	9	42,35
		2	7	42,35
		3	5	42,35
		4	3	42,60
		5	1	42,61

Tabla 108. Valores extremos. Coste del consumo energético

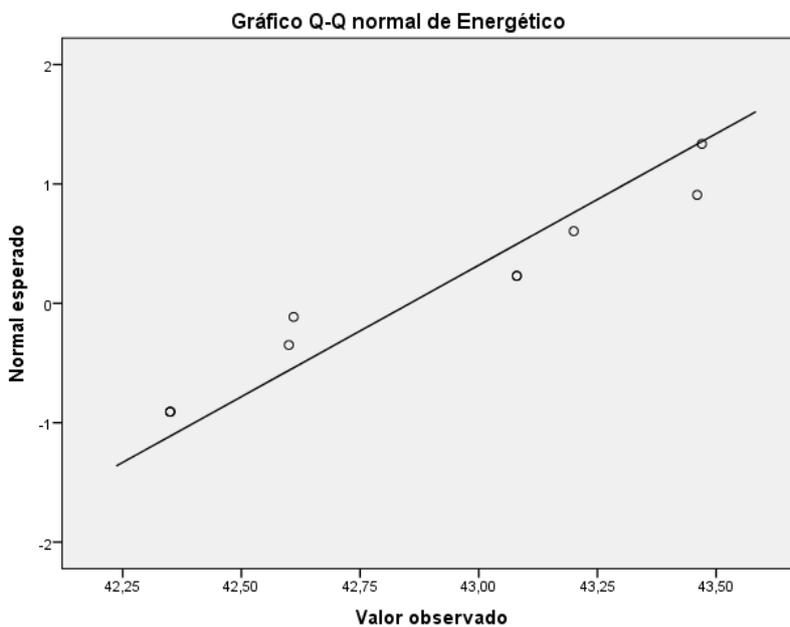
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Energético	0,205	10	0,200*	0,866	10	0,091

Tabla 109. Pruebas de normalidad. Coste del consumo energético

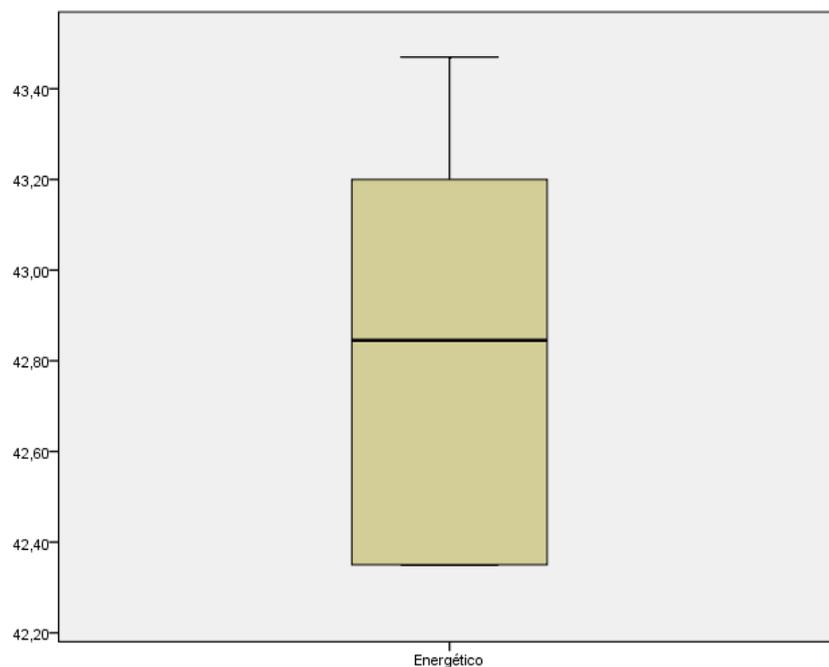
Para el caso del coste del consumo energético el histograma y la grafica Q-Q normal nos presentan valores que nos indican la normalidad de los mismos aunque la grafica 62 nos muestra la inexistencia de valores anómalos si se observa la asimetría clara hacia la izquierda de la variable contemplada.



Gráfica 60. Histograma. Coste del consumo energético



Gráfica 61. Q-Q normal. Coste del consumo energético



Gráfica 62. Diagrama de cajas y bigotes. Coste del consumo energético

#### d) Coste total

Descriptivos			Estadístico	Error típ.
totales	Media		66,9260	0,83298
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	65,0417	
		Límite superior	68,8103	
	Media recortada al 5%		66,8494	
	Mediana		66,1050	
	Varianza		6,939	
	Desv. Típ.		2,63412	
	Mínimo		63,91	
	Máximo		71,32	
	Rango		7,41	
	Amplitud intercuartil		3,65	
	Asimetría		0,861	0,687
	Curtosis		-0,268	1,334

Tabla 110. Descriptivos. Coste total

Estimadores-M				
	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Totales	66,3492	66,2339	66,5113	66,2366

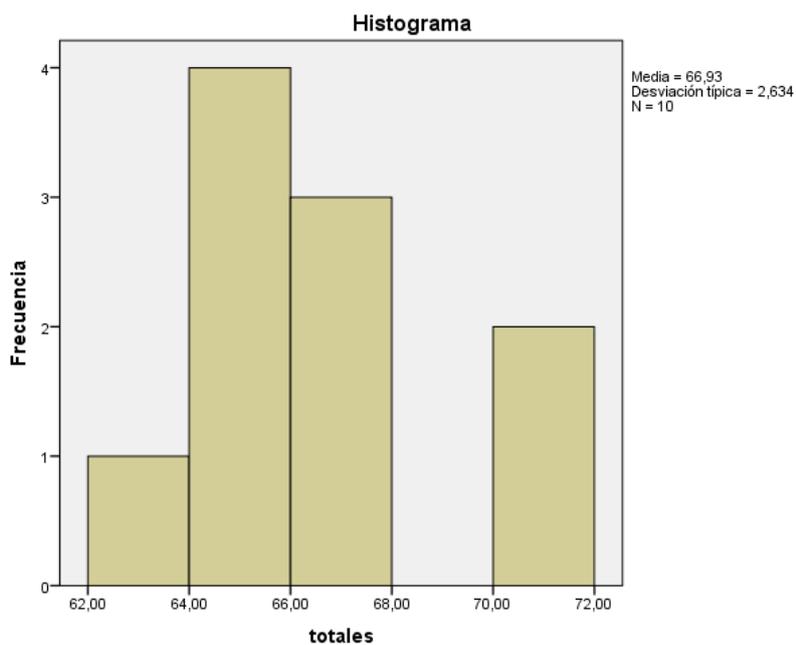
Tabla 111. Estimadores M. Coste total

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
totales	Mayores	1	2	71,32
		2	1	71,31
		3	4	67,89
		4	3	67,56
		5	6	66,22
	Menores	1	9	63,91
		2	10	64,12
		3	7	65,42
		4	8	65,52
		5	5	65,99

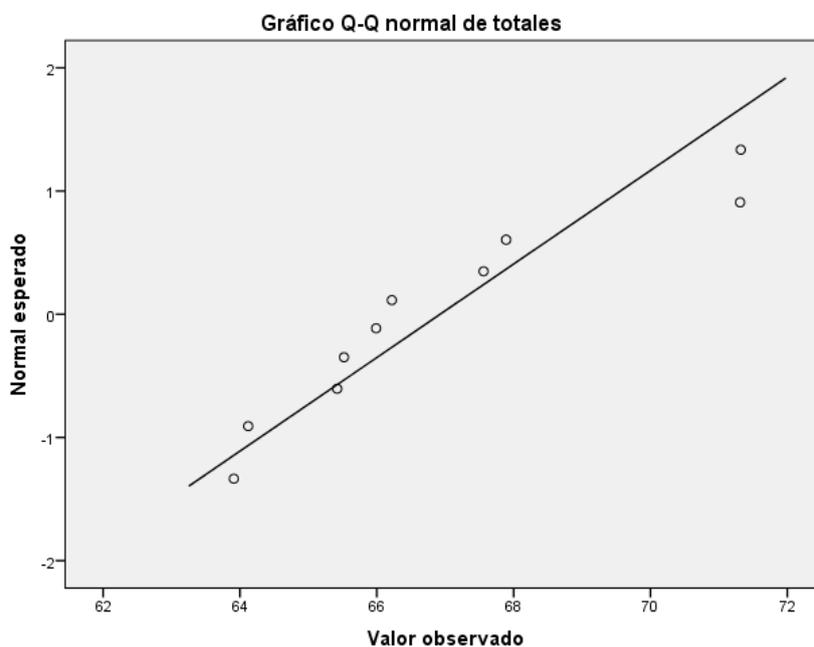
Tabla 112. Valores extremos. Coste total

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Totales	0,206	10	0,200*	0,878	10	0,125

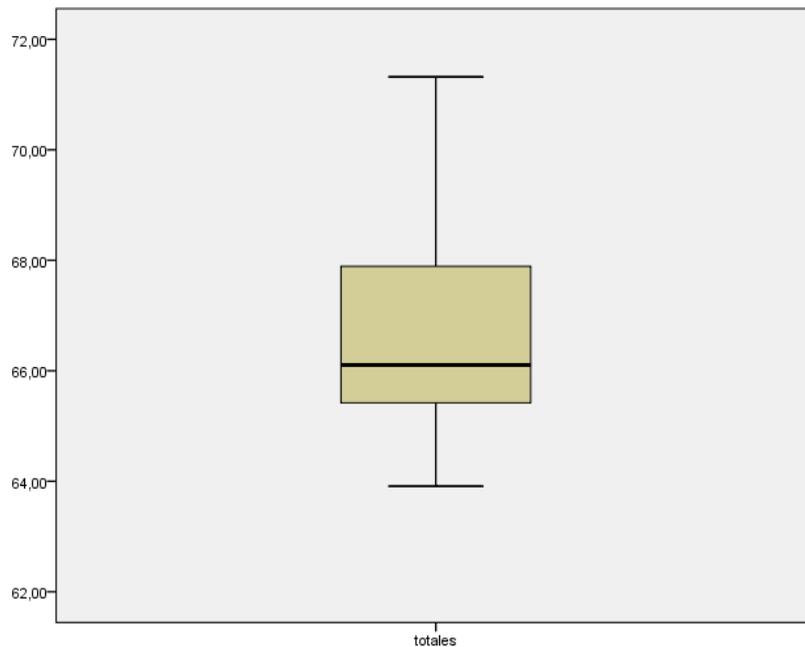
Tabla 113. Pruebas de normalidad. Coste total



Gráfica 63. Histograma. Coste total



Gráfica 64. Q-Q normal. Coste Total



Gráfica 65. Diagrama de cajas y bigotes. Coste Total

En base a las tablas y graficas anteriores, podemos confirmar que existe una relación muy fuerte entre el coste del consumo energético y el coste total, observando también que el coste de amortización hay que tenerlo en cuenta. Si bien también se observa que el coste de personal a medida que aumenta la producción se aminora bastante.

Para el caso del coste total se observa que hay algunos valores, 2 en concreto, que se alejan de la normalidad relativa, si bien, la grafica Q-Q normal nos presenta valores que nos indican la normalidad de los mismos. La grafica 65 nos muestra la inexistencia de valores anómalos aunque se observa una pequeña asimetría hacia la izquierda.

### 7.5.3.6 Análisis factorial

Analizamos en este apartado las matrices de correlaciones, con las pruebas de esfericidad de Bartlett, la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin y matrices de correlación reproducida y anti imagen. Finalmente obtendremos un gráfico de sedimentación y el gráfico de componentes en espacio rotado. Lo primero que se observa es la matriz de correlaciones, tabla 114, cuyo determinante es  $1,267 \times 10^{-17}$ , lo que nos indica al ser muy pequeño que el grado de intercorrelación entre las variables es muy elevado, condición importante que debe cumplir el análisis. Otros dos elementos importantes que se observan en la tabla 115 son el test de Bartlett cuyo valor es cero, lo que nos indica que existe correlación importante entre las variables y el estadístico KMO cuyo valor por encima de 0,5 se considera aceptable la adecuación de la muestra al análisis.

Matriz de correlaciones<sup>a</sup> (a. determinante =  $1,267 \times 10^{-17}$ )

		Amort.	Reactivos	Filtros	Membrana	Personal	Mto	Medioamb	Energ.	total
Correlación	Amortización	1,000	0,761	0,685	0,887	0,958	0,996	0,981	0,885	0,967
	Reactivos	0,761	1,000	0,962	0,900	0,628	0,741	0,673	0,437	0,642
	Filtros	0,685	0,962	1,000	0,870	0,562	0,659	0,603	0,384	0,575
	Membranas	0,887	0,900	0,870	1,000	0,807	0,874	0,841	0,679	0,818
	Personal	0,958	0,628	0,562	0,807	1,000	0,970	0,994	0,958	0,999
	Mantenimiento	0,996	0,741	0,659	0,874	0,970	1,000	0,987	0,898	0,977
	Medioambiental	0,981	0,673	0,603	0,841	0,994	0,987	1,000	0,951	0,997
	Energético	0,885	0,437	0,384	0,679	0,958	0,898	0,951	1,000	0,958
	totales	0,967	0,642	0,575	0,818	0,999	0,977	0,997	0,958	1,000
Sig. (Unilateral)	Amortización		0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Reactivos	0,000		0,000	0,000	0,005	0,001	0,002	0,045	0,004
	Filtros	0,002	0,000		0,000	0,012	0,003	0,007	0,071	0,010
	Membranas	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
	Personal	0,000	0,005	0,012	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
	Mantenimiento	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
	Medioambiental	0,000	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	Energético	0,000	0,045	0,071	0,002	0,000	0,000	0,000		0,000
	totales	0,000	0,004	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Tabla 114. Matriz de correlaciones

KMO y prueba de Bartlett		
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		0,745
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	434,469
	gl	36
	Sig.	0,000

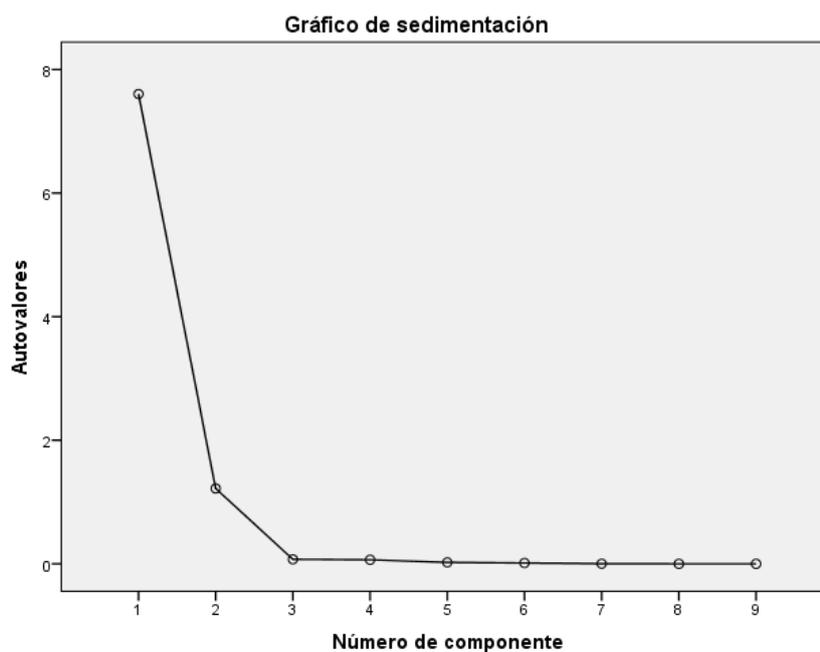
Tabla 115. KMO y prueba de Bartlett

Matrices anti-imagen

		Amort.	Reactivos	Filt.	Memb.	Personal	Mto	Medioamb.	Energ.	totales
Covarianza anti-imagen	Amortización	0,002	0,002	-0,002	0,003	4,589E-5	-9,885E-6	0,000	0,001	-2,621E-5
	Reactivos	0,002	0,012	-0,014	0,003	-1,566E-5	0,000	-0,001	0,002	2,967E-5
	Filtros	-0,002	-0,014	0,027	-0,006	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000
	Membranas	0,003	0,003	-0,006	0,062	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000
	Personal	4,589E-5	-1,566E-5	0,000	0,000	1,023E-5	8,931E-5	1,903E-5	8,932E-5	-7,406E-6
	Mto.	-9,885E-6	0,000	0,003	0,003	8,931E-5	0,002	0,000	0,001	-6,456E-5
	Medioamb.	0,000	-0,001	0,001	0,000	1,903E-5	0,000	8,638E-5	-1,463E-5	-1,538E-5
	Energético	0,001	0,002	0,000	0,004	8,932E-5	0,001	-1,463E-5	0,002	-5,945E-5
	Totales	-2,621E-5	2,967E-5	0,000	0,000	-7,406E-6	-6,456E-5	-1,538E-5	-5,945E-5	5,416E-6
Correlación anti-imagen	Amortización	0,832 <sup>a</sup>	0,546	-0,305	0,315	0,369	-0,006	-0,333	0,693	-0,290
	Reactivos	0,546	0,727 <sup>a</sup>	-0,794	0,098	-0,045	-0,029	-0,610	0,539	0,116
	Filtros	-0,305	-0,794	0,680 <sup>a</sup>	-0,141	0,423	0,425	0,659	-0,048	-0,472
	Membranas	0,315	0,098	-0,141	0,885 <sup>a</sup>	0,407	0,304	0,058	0,443	-0,379
	Personal	0,369	-0,045	0,423	0,407	0,680 <sup>a</sup>	0,699	0,640	0,716	-0,995
	Mto.	-0,006	-0,029	0,425	0,304	0,699	0,782 <sup>a</sup>	0,351	0,644	-0,695
	Medioamb.	-0,333	-0,610	0,659	0,058	0,640	0,351	0,764 <sup>a</sup>	-0,040	-0,711
	Energético	0,693	0,539	-0,048	0,443	0,716	0,644	-0,040	0,688 <sup>a</sup>	-0,655
	totales	-0,290	0,116	-0,472	-0,379	-0,995	-0,695	-0,711	-0,655	0,684 <sup>a</sup>

a. Medida de adecuación muestral

Tabla 116. Matrices anti-imagen



Gráfica 66. Sedimentación

Analizando la matriz de correlaciones anti-imagen, tabla 116, todos los coeficientes deben ser bajos, cosa que cumplimos, para que las variables compartan factores comunes. También es importante que los elementos de la diagonal sean similares a los KMO, que también ocurre, y cercanos a la unidad. Cabe comentar según la grafica 66 de sedimentación que solamente presentamos un valor por encima de 1, dato muy positivo para la investigación.

**Matriz de componentes<sup>a</sup>**

	Componente	
	1	2
Amortización	0,988	-0,064
Reactivos	0,803	0,580
Filtros	0,746	0,643
Membranas	0,924	0,304
Personal	0,963	-0,252
Mantenimiento	0,987	-0,101
Medioambiental	0,980	-0,199
Energético	0,879	-0,451
Totales	0,969	-0,237

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

a. 2 componentes extraídos

Tabla 117. Matriz de componentes

**Comunalidades**

	Extracción
Amortización	0,980
Reactivos	0,981
Filtros	0,971
Membranas	0,946
Personal	0,990
Mantenimiento	0,984
Medioambiental	1,000
Energético	0,976
Totales	0,995

Tabla 118. Comunalidades

**Varianza total explicada**

Componente	Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7,604	84,491	84,491
2	1,219	13,546	98,037

Tabla 119. Varianza total

Estudiamos a continuación la matriz de componentes, tabla 117, donde apreciamos que todas las variables presentan cargas muy elevadas para un factor y bajas, < 0,25 para el otro

factor por lo que es difícil agrupar las variables en componentes y se procede a realizar una rotación. Antes de la rotación observamos las comunalidades, tabla 118, en la cual se observa que siguen teniendo valores muy altos y cercanos a la unidad, lo cual nos interesa. Con respecto a la varianza total explicada, tabla 119 y 122, la primera componente aporta el 84,49% y la segunda el 13,54%, lo que implica que entre las dos se aporta un 98,03%.

Correlaciones reproducidas

		Amort.	Reactivos	Filtros	Membranas	Personal	Mto	Medioamb.	Energ.	totales
Correlación reproducida	Amortización	0,980 <sup>a</sup>	0,757	0,697	0,893	0,967	0,981	0,981	0,897	0,973
	Reactivos	0,757	0,981 <sup>a</sup>	0,973	0,918	0,627	0,734	0,671	0,445	0,641
	Filtros	0,697	0,973	0,971 <sup>a</sup>	0,885	0,556	0,671	0,603	0,366	0,571
	Membranas	0,893	0,918	0,885	0,946 <sup>a</sup>	0,813	0,881	0,845	0,676	0,823
	Personal	0,967	0,627	0,556	0,813	0,990 <sup>a</sup>	0,975	0,993	0,960	0,993
	Mantenimiento	0,981	0,734	0,671	0,881	0,975	0,984 <sup>a</sup>	0,987	0,913	0,980
	Medioambiental	0,981	0,671	0,603	0,845	0,993	0,987	1,000 <sup>a</sup>	0,951	0,997
	Energético	0,897	0,445	0,366	0,676	0,960	0,913	0,951	0,976 <sup>a</sup>	0,959
	totales	0,973	0,641	0,571	0,823	0,993	0,980	0,997	0,959	0,995 <sup>a</sup>
Residual <sup>b</sup>	Amortización		0,005	-0,011	-0,006	-0,009	0,015	0,000	-0,012	-0,006
	Reactivos	0,005		-0,011	-0,018	0,001	0,007	0,002	-0,008	0,001
	Filtros	-0,011	-0,011		-0,014	0,005	-0,013	0,000	0,017	0,004
	Membranas	-0,006	-0,018	-0,014		-0,006	-0,007	-0,004	0,003	-0,005
	Personal	-0,009	0,001	0,005	-0,006		-0,005	0,000	-0,002	0,007
	Mantenimiento	0,015	0,007	-0,013	-0,007	-0,005		0,000	-0,015	-0,003
	Medioambiental	0,000	0,002	0,000	-0,004	0,000	0,000		-0,001	0,000
	Energético	-0,012	-0,008	0,017	0,003	-0,002	-0,015	-0,001		-0,001
	totales	-0,006	0,001	0,004	-0,005	0,007	-0,003	0,000	-0,001	

a. Comunalidades reproducidas. b. Los residuos se calculan entre las correlaciones observadas y reproducidas. No hay residuales mayores que 0,05

Tabla 120. Correlaciones reproducidas

Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones

	Componente	
	1	2
Amortización	0,130	-0,052
Reactivos	0,106	0,476
Filtros	0,098	0,528
Membranas	0,121	0,249
Personal	0,127	-0,207
Mantenimiento	0,130	-0,083
Medioambiental	0,129	-0,164
Energético	0,116	-0,370
Totales	0,127	-0,194

Tabla 121. Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones

Observando los coeficientes de correlaciones reproducidas, tabla 120, se manifiesta claramente que no existen valores residuales mayores a 0,05, lo cual nos indica que la bondad del modelo es adecuada y no discutible. Presentamos a continuación las puntuaciones factoriales, tabla 121, que como se observa presenta valores bajos adecuados.

**Varianza total explicada**

Componente	Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7,604	84,491	84,491	5,459	60,658	60,658
2	1,219	13,546	98,037	3,364	37,380	98,037

Tabla 122. Varianza total

**Matriz de componentes rotados<sup>a</sup>**

	Componente	
	1	2
Amortización	0,842	0,521
Reactivos	0,318	0,938
Filtros	0,235	0,957
Membranas	0,577	0,783
Personal	0,931	0,353
Mantenimiento	0,863	0,490
Medioambiental	0,914	0,405
Energético	0,978	0,142
<b>totales</b>	<b>0,927</b>	<b>0,369</b>

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Tabla 123. Matriz de componentes rotados

**Matriz de transformación de las componentes**

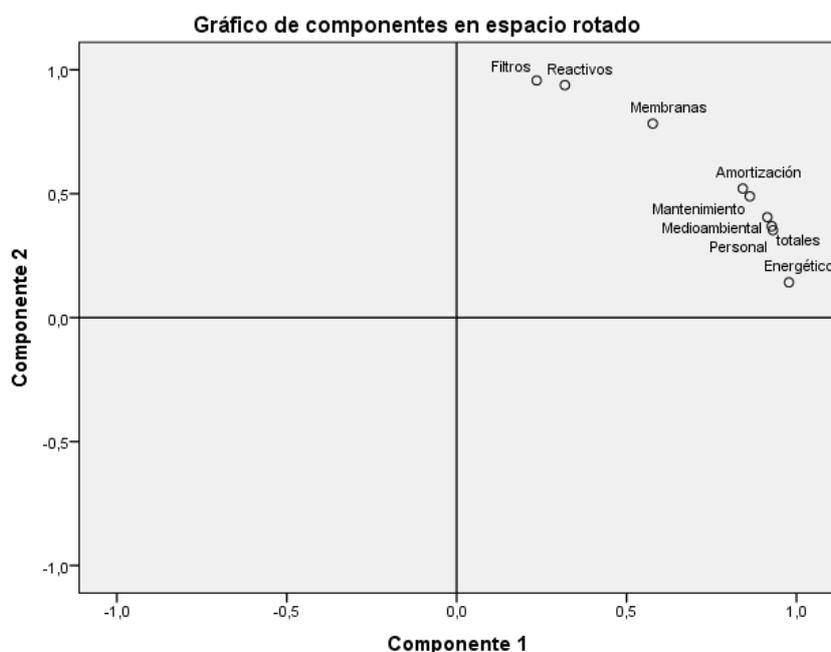
Componente	1	2
1	0,815	0,580
2	-0,580	0,815

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

Tabla 124. Matriz de transformación de las componentes

En la matriz de componentes rotados, tabla 123, apreciamos que todas las variables presentan cargas muy elevadas para los dos factores.

En función de la matriz de transformación, tabla 124, y la matriz de coeficientes, tabla 125, realizamos el gráfico 67, de componentes rotados donde se manifiestan que variables se asocian a la primera componente por estar cerca del eje X y cuales se asocian a la segunda componente por estar cerca del eje Y.



Gráfica 67. Componentes de espacio rotado

**Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones en las componentes**

	Componente	
	1	2
Amortización	0,136	0,033
Reactivos	-0,190	0,449
Filtros	-0,226	0,487
Membranas	-0,045	0,273
Personal	0,223	-0,095
Mantenimiento	0,154	0,008
Medioambiental	0,200	-0,059
Energético	0,308	-0,234
Totales	0,216	-0,084

Tabla 125. Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones

### 7.5.3.7 Obtención del modelo matemático

Una vez llegado a este punto, mediante el programa SPSS, versión 20, hemos analizado los posibles modelos matemáticos dentro de nuestra investigación, partiendo de la base, que el coste total es una variable única dependiente de las otras 8 variables independientes. Por tanto, en función de lo comentado nuestro modelo matemático puede responder a un modelo univariante o a un modelo en base a mínimos cuadrados ponderados, que pasamos a estudiar, describir, calcular y definir.

#### 7.5.3.7.1 Análisis de varianza univariante

Inicialmente, presentamos la descripción del modelo, tomando como variable dependiente los costes totales y el resto de costes forman parte de las covariables.

A continuación presentamos las pruebas de los efectos inter-sujetos donde se pueden observar una serie de resultados básicos para el cálculo del modelo.

#### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: totales

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	17491,744 <sup>a</sup>	8	2186,468	161571,620	0,000
Intersección	0,003	1	0,003	0,245	0,636
Amortización	0,009	1	0,009	0,642	0,449
Reactivos	0,001	1	0,001	0,096	0,766
Filtros	0,027	1	0,027	2,004	0,200
Membranas	0,016	1	0,016	1,174	0,314
Personal	9,482	1	9,482	700,717	0,000
Mantenimiento	0,088	1	0,088	6,535	0,038
Medioambiental	0,097	1	0,097	7,161	0,032
Energético	0,071	1	0,071	5,248	0,056
Error	0,095	7	0,014		
Total	140335,079	16			
Total corregida	17491,838	15			

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)

Tabla 126. Prueba de los efectos inter-sujetos. (Univariante)

## Medias marginales estimadas

### Gran media

Variable dependiente: totales

Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
		Límite inferior	Límite superior
87,623 <sup>a</sup>	0,029	87,554	87,691

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los siguientes valores: Amortización=10,8944, Reactivos=2,9419, Filtros=,2188, Membranas =1,0081, Personal =21,0150, Mantenimiento =3,4063, Medioambiental =4,3913, Energético =43,7469.

Tabla 127. Gran media

### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: totales

Media	Desviación típica	N
87,6225	34,14854	16

Tabla 128. Estadísticos descriptivos

### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: totales

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>b</sup>
Modelo corregido	17491,744 <sup>a</sup>	8	2186,468	161571,620	0,000	1,000	1292572,963	1,000
Intersección	0,003	1	0,003	0,245	0,636	0,034	0,245	0,072
Amortización	0,009	1	0,009	0,642	0,449	0,084	0,642	0,107
Reactivos	0,001	1	0,001	0,096	0,766	0,013	0,096	0,058
Filtros	0,027	1	0,027	2,004	0,200	0,223	2,004	0,232
Membranas	0,016	1	0,016	1,174	0,314	0,144	1,174	0,156
Personal	9,482	1	9,482	700,717	0,000	0,990	700,717	1,000
Mantenimiento	0,088	1	0,088	6,535	0,038	0,483	6,535	0,595
Medioambiental	0,097	1	0,097	7,161	0,032	0,506	7,161	0,634
Energético	0,071	1	0,071	5,248	0,056	0,428	5,248	0,506
Error	0,095	7	0,014					
Total	140335,079	16						
Total corregida	17491,838	15						

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)////// b. Calculado con alfa = ,05

Tabla 129. Prueba de los efectos inter-sujetos

Presentamos a continuación en la tabla siguiente, los parámetros obtenidos en este primer modelo, respondiendo a un intervalo de confianza del 95%.

#### Estimaciones de los parámetros

Variable dependiente: totales

Parámetro	B	Error típ.	t	Sig.	Intervalo de confianza 95%		Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
					Límite inferior	Límite superior			
Intersección	10,613	21,442	0,495	0,636	-40,091	61,316	0,034	0,495	0,072
Amortización	0,317	0,395	0,801	0,449	-0,618	1,252	0,084	0,801	0,107
Reactivos	0,715	1,971	-0,309	0,766	-5,271	4,051	0,013	0,309	0,058
Filtros	20,886	14,754	1,416	0,200	-14,001	55,773	0,223	1,416	0,232
Membranas	0,674	0,622	1,084	0,314	-0,797	2,146	0,144	1,084	0,156
Personal	0,962	0,036	26,471	0,000	0,876	1,048	0,990	26,471	1,000
Mantenimiento	0,890	0,866	2,556	0,038	0,166	4,263	0,483	2,556	0,595
Medioambiental	1,427	0,533	2,676	0,032	0,166	2,688	0,506	2,676	0,634
Energético	0,825	0,360	2,291	0,056	-0,027	1,676	0,428	2,291	0,506

a. Calculado con  $\alpha = ,05$

Tabla 130. Estimaciones de los parámetros

#### Función estimable general<sup>a</sup>

Parámetro	Contraste								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Intersección	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Reactivos	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Filtros	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Membranas	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Personal	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Medioambiental	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Energético	0	0	0	0	0	0	0	0	1

a. Diseño: Intersección + Amortización + Reactivos + Filtros + Membranas + Personal + Mantenimiento + Medioambiental + Energético

Tabla 131. Función estimable general

Pruebas de falta de ajuste

Variable dependiente: totales

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
Falta de ajuste	0,095	7	0,014	.	.	1,000	.	.
Error puro	0,000	0	.	.	.	.	.	.

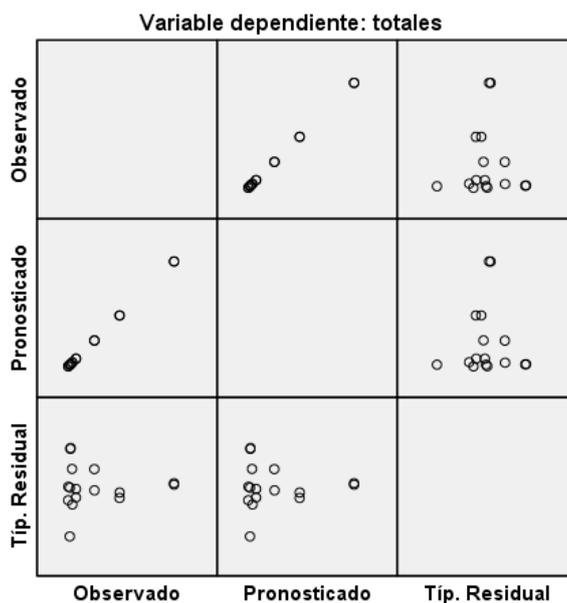
a. Calculado con alfa = ,05

Tabla 132. Pruebas de falta de ajuste

Contrast Coefficients (L' Matrix)

Parámetro	Gran media
Intersección	1
Amortización	10,894
Reactivos	2,942
Filtros	0,219
Membranas	1,008
Personal	21,015
Mantenimiento	3,406
Medioambiental	4,391
Energético	43,747

Tabla 133. Contrast Coefficients (L' Matrix)



Modelo: Intersección + Amortización + Reactivos + Filtros + Membranas + Personal + Mantenimiento + Medioambiental + Energético

Gráfica 68. Variables dependientes. Observado, pronosticado y residual

En función de los cálculos realizados para este modelo, obtenemos a continuación la expresión que nos define nuestro modelo matemático, y que es la siguiente.

$$\text{Función coste} = 10,613 + 0,317A + 0,715R + 20,886F + 0,674M + 0,962P + 0,890MO + 1,427MA + 0,825E$$

donde,

A= Coste de amortización

R= Coste de consumo de reactivos

F= Coste de reposición de filtros de cartucho

M= Coste de reposición de membranas

P= Coste de personal

MO= Coste de mantenimiento

MA= Coste medioambiental

E= Coste del consumo energético

### 7.5.3.7.2 Análisis de mínimos cuadrados ponderados (consumo energético)

Estudiamos en un segundo caso el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora el consumo energético, por ser la variable con más peso en el coste total.

		Valores de log-verosimilitud <sup>b</sup>
Potencia	-2,000	16,592 <sup>a</sup>
	-1,500	16,499
	-1,000	16,405
	-0,500	16,312
	0,000	16,218
	0,500	16,125
	1,000	16,031
	1,500	15,937
	2,000	15,844

a. Se ha seleccionado la potencia correspondiente para análisis adicionales porque maximiza la

función de log-verosimilitud. b. Variable dependiente: totales, variable de origen: Energético

Tabla 134. Resumen de potencias. (MCP) (C. energético)

### Estadísticos del mejor modelo

Descripción del modelo		
Variable dependiente		Totales
Variables independientes	1	Amortización
	2	Reactivos
	3	Filtros
	4	Membranas
	5	Personal
	6	Mantenimiento
	7	Medioambiental
	8	Energético
Ponderación	Origen	Energético
	Valor de potencia	-2,000

Tabla 135. Estadísticos del mejor modelo. Descripción

Resumen del modelo	
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error típico de la estimación	4,968
Valor de la función log-verosimilitud	16,592

Tabla 136. Estadísticos del mejor modelo. Resumen

### ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	36978415,998	8	4622302,000	187247,291	,000
Residual	172,799	7	24,686		
Total	36978588,797	15			

Tabla 137. Datos ANOVA

Al igual que en el anterior modelo, presentamos los coeficientes pertenecientes al nuevo modelo.

Coeficientes						
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Error típico	Beta	Error típico		
(Constante)	10,383	20,967			0,495	0,636
Amortización	0,326	0,388	0,018	0,021	0,842	0,428
Reactivos	0,018	1,947	-0,002	0,008	-0,318	0,760
Filtros	21,059	14,648	0,006	0,004	1,438	0,194
Membranas	0,033	0,587	0,003	0,003	1,140	0,292
Personal	0,963	0,035	0,726	0,027	27,377	0,000
Mantenimiento	2,214	0,853	0,040	0,015	2,594	0,036
Medioambiental	1,416	0,518	0,176	0,064	2,736	0,029
Energético	0,806	0,352	0,039	0,017	2,350	0,051

Tabla 138. Coeficientes del modelo

Presentamos como resultado final la expresión que nos define el modelo matemático.

$$\text{Función coste} = 10,383 + 0,326A + 0,018R + 21,059F + 0,033M + 0,963P + 2,214MO + 1,416MA + 0,806E$$

### 7.5.3.7.3 Análisis de mínimos cuadrados ponderados (filtros)

Estudiamos en un tercer caso el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora la reposición de filtros de cartuchos, por ser la variable con menor peso en el coste total.

		Valores de log-verosimilitud <sup>b</sup>
Potencia	-2,000	16,271 <sup>a</sup>
	-1,500	16,259
	-1,000	16,246
	-0,500	16,233
	0,000	16,218
	0,500	16,203
	1,000	16,187
	1,500	16,171
	2,000	16,154

a. Se ha seleccionado la potencia correspondiente para análisis adicionales porque maximiza la función de log-verosimilitud. b. Variable dependiente: totales, variable de origen: Filtros

Tabla 139. Resumen de potencias. (MCP) (Filtros)

## Estadísticos del mejor modelo

Descripción del modelo		
Variable dependiente		totales
Variables independientes	1	Amortización
	2	Reactivos
	3	Filtros
	4	Membranas
	5	Personal
	6	Mantenimiento
	7	Medioambiental
	8	Energético
Ponderación	Origen	Filtros
	Valor de potencia	-2,000

Tabla 140. Estadísticos del mejor modelo. Descripción

Resumen del modelo	
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error típico de la estimación	0,025
Valor de la función log-verosimilitud	16,271

Tabla 141. Estadísticos del mejor modelo. Resumen

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	887,935	8	110,992	172936,811	0,000
Residual	0,004	7	0,001		
Total	887,939	15			

Tabla 142. Datos ANOVA

Coeficientes						
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Error típico	Beta	Error típico		
(Constante)	7,708	21,515			0,472	0,651
Amortización	0,327	0,404	0,018	0,022	0,809	0,445
Reactivos	0,201	1,973	-0,002	0,008	-0,286	0,783
Filtros	20,435	15,140	0,006	0,005	1,350	0,219
Membranas	0,681	0,612	0,004	0,003	1,114	0,302
Personal	0,963	0,037	0,726	0,028	26,357	0,000
Mantenimiento	2,225	0,888	0,040	0,016	2,504	0,041
Medioambiental	1,413	0,536	0,176	0,067	2,637	0,034
Energético	0,832	0,362	0,039	0,017	2,300	0,055

Tabla 143. Coeficientes del modelo

Presentamos como resultado final la expresión que nos define el modelo matemático.

$$\text{Función coste} = 7,708 + 0,327A + 0,201R + 20,435F + 0,681M + 0,963P + 2,225MO + 1,413MA + 0,832E$$

#### 7.5.3.7.4 Análisis de varianza univariante

A continuación, vamos a presentar la descripción del modelo, tomando como variable dependiente los costes totales y el resto de costes forman parte de las covariables, teniendo en cuenta que hemos reagrupado en un coste llamado resto de costes los que presentan valores menos significativos, es decir, reactivos, filtros, membranas, mantenimiento y medioambiental.

En función de esto, tendremos una variable dependiente que es los costes totales y cuatro covariables que responden a amortización, personal, energético y resto costes.

A continuación presentamos los estadísticos descriptivos y las pruebas de los efectos inter-sujetos donde se pueden observar una serie de resultados básicos para el cálculo del modelo.

Estadísticos descriptivos		
Variable dependiente: Totales		
Media	Desviación típica	N
87,6225	34,14854	16

Tabla 144. Estadísticos descriptivos. (Univariante)

## Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Totales

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>b</sup>
Modelo corregido	17491,703 <sup>a</sup>	4	4372,926	354403,494	0,000	1,000	1417613,974	1,000
Intersección	0,006	1	0,006	0,519	0,486	0,045	0,519	0,101
Amortización	0,165	1	0,165	13,405	0,004	0,549	13,405	0,914
Personal	60,765	1	60,765	4924,708	0,000	0,998	4924,708	1,000
Energético	2,331	1	2,331	188,893	0,000	0,945	188,893	1,000
Restocostes	0,954	1	0,954	77,317	0,000	0,875	77,317	1,000
Error	0,136	11	0,012					
Total	140335,079	16						
Total corregida	17491,838	15						

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)

b. Calculado con alfa = ,05

Tabla 145. Prueba de los efectos inter-sujetos

## Estimaciones de los parámetros

Variable dependiente: Totales

Parámetro	B	Error tip.	t	Sig.	Intervalo de confianza 95%		Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
					Límite inferior	Límite superior			
Intersección	2,525	3,505	0,720	0,486	-5,190	10,239	0,045	0,720	0,101
Amortización	0,723	0,198	3,661	0,004	0,289	1,158	0,549	3,661	0,914
Personal	0,985	0,014	70,176	0,000	0,955	1,016	0,998	70,176	1,000
Energético	0,969	0,070	13,744	0,000	0,814	1,124	0,945	13,744	1,000
Restocostes	1,181	0,134	8,793	0,000	0,885	1,476	0,875	8,793	1,000

a. Calculado con alfa = ,05

Tabla 146. Estimaciones de los parámetros

Función estimable general<sup>a</sup>

Parámetro	Contraste				
	L1	L2	L3	L4	L5
Intersección	1	0	0	0	0
Amortización	0	1	0	0	0
Personal	0	0	1	0	0
Energético	0	0	0	1	0
Restocostes	0	0	0	0	1

a. Diseño: Intersección + Amortización + Personal + Energético + Restocostes

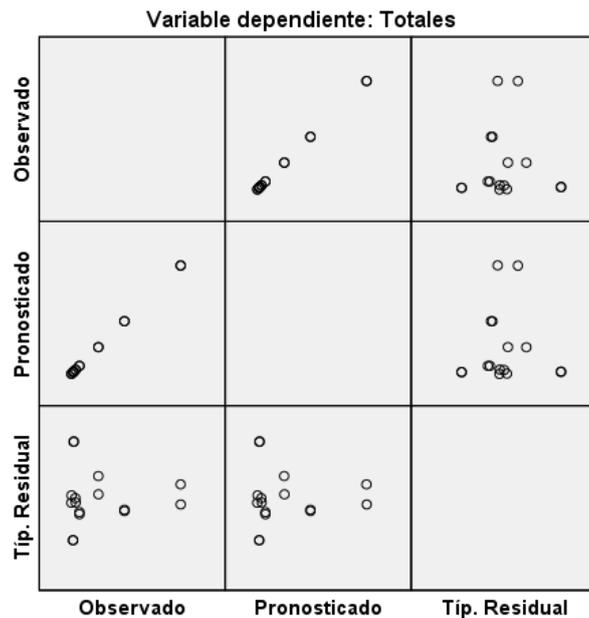
Tabla 147. Función estimable general

Pruebas de falta de ajuste

Variable dependiente: Totales

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
Falta de ajuste	0,136	11	0,012	.	.	1,000	.	.
Error puro	0,000	0	.	.	.	.	.	.

Tabla 148. Pruebas de falta de ajuste



Modelo: Intersección + Amortización + Personal + Energético + Restocostes

Gráfica 69. Variables dependientes. Observado, pronosticado y residual

En función de los cálculos realizados para este modelo, obtenemos a continuación la expresión que nos define nuestro modelo matemático, y que es la siguiente.

$$\text{Función coste} = 2,525 + 0,723A + 0,985P + 0,969E + 1,181RC$$

donde,

A= Coste de amortización

P= Coste de personal

E= Coste del consumo energético

RC= Resto de costes

### 7.5.3.7.5 Análisis de mínimos cuadrados ponderados (consumo energético)

Estudiamos ahora el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora el consumo energético, por ser la variable con más peso en el coste total. Asimismo, en este caso tendremos como costes, los de amortización, personal, energético y resto costes que aglutina al resto de los costes con menor valor significativo

#### Resumen de potencia

		Valores de log-verosimilitud <sup>b</sup>
Potencia	-2,000	15,250 <sup>a</sup>
	-1,500	15,177
	-1,000	15,104
	-0,500	15,031
	0,000	14,957
	0,500	14,883
	1,000	14,809
	1,500	14,735
	2,000	14,661

a. Se ha seleccionado la potencia correspondiente para análisis adicionales porque maximiza la función de log-verosimilitud.

b. Variable dependiente: Totales, variable de origen: Energético

Tabla 149. Resumen de potencias. (MCP) (C. energético)

#### Estadísticos del mejor modelo

Descripción del modelo		
Variable dependiente		Totales
Variables independientes	1	Amortización
	2	Personal
	3	Energético
	4	Restocostes
Ponderación	Origen	Energético
	Valor de potencia	-2,000

Tabla 150. Estadísticos del mejor modelo. Descripción

Resumen del modelo	
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error típico de la estimación	4,768
Valor de la función log-verosimilitud	15,250

Tabla 151. Estadísticos del mejor modelo. Resumen

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	36978338,706	4	9244584,677	406614,064	0,000
Residual	250,091	11	22,736		
Total	36978588,797	15			

Tabla 152. Datos ANOVA

Coeficientes						
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Error típico	Beta	Error típico		
(Constante)	2,339	3,423			0,683	0,509
Amortización	0,736	0,194	0,040	0,010	3,800	0,003
Personal	0,986	0,014	0,743	0,010	71,750	0,000
Energético	0,972	0,069	0,046	0,003	14,097	0,000
Restocostes	1,172	0,131	0,175	0,020	8,921	0,000

Tabla 153. Coeficientes del modelo

En función de los cálculos realizados para este modelo, obtenemos a continuación la expresión que nos define nuestro modelo matemático, y que es la siguiente.

$$\text{Función coste} = 2,339 + 0,736A + 0,986P + 0,972E + 1,172RC$$

#### 7.5.3.7.6 Análisis de mínimos cuadrados ponderados (filtros)

Estudiamos ahora el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora la reposición de filtros de cartuchos, por ser la variable con menor peso en el coste total. Asimismo, en este caso tendremos como costes, los de amortización, personal, energético y resto costes que aglutina al resto de los costes con menor valor significativo

## Resumen de potencia

		Valores de log-verosimilitud <sup>b</sup>
Potencia	-2,000	18,797 <sup>a</sup>
	-1,500	17,788
	-1,000	16,813
	-0,500	15,870
	0,000	14,957
	0,500	14,069
	1,000	13,198
	1,500	12,342
	2,000	11,495

a. Se ha seleccionado la potencia correspondiente para análisis adicionales porque maximiza la función de log-verosimilitud.

b. Variable dependiente: Totales, variable de origen: Restocostes

Tabla 154. Resumen de potencias. (MCP) (Filtros)

## Estadísticos del mejor modelo

Descripción del modelo		
Variable dependiente		Totales
Variables independientes	1	Amortización
	2	Personal
	3	Energético
	4	Restocostes
Ponderación	Origen	Restocostes
	Valor de potencia	-2,000

Tabla 155. Estadísticos del mejor modelo. Descripción

Resumen del modelo	
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error típico de la estimación	0,973
Valor de la función log-verosimilitud	18,797

Tabla 156. Estadísticos del mejor modelo. Resumen

**ANOVA**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	4573379,021	4	1143344,755	1206698,555	0,000
<b>Residual</b>	10,422	11	,947		
<b>Total</b>	4573389,443	15			

Tabla 157. Datos ANOVA

**Coefficientes**

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Error típico	Beta	Error típico		
<b>(Constante)</b>	0,597	2,276			0,262	0,798
<b>Amortización</b>	0,890	0,131	0,044	0,007	6,805	0,000
<b>Personal</b>	0,993	0,011	0,756	0,008	94,012	0,000
<b>Energético</b>	0,997	0,048	0,048	0,002	20,889	0,000
<b>Restocostes</b>	1,074	0,092	0,155	0,013	11,670	0,000

Tabla 158. Coeficientes del modelo

En función de los cálculos realizados para este modelo, obtenemos a continuación la expresión que nos define nuestro modelo matemático, y que es la siguiente.

$$\text{Función coste} = 0,597 + 0,890A + 0,993P + 0,997E + 1,074RC$$

## 7.6 Simulación con datos reales

Una vez que hemos estudiado los modelos matemáticos, vamos a realizar una simulación con los datos reales. Para ello vamos a estudiar para cada línea de producción los datos de costes reales que hemos aportado en la T.D., realizando en cada línea un estudio somero, basado en los cálculos de los descriptivos, los estimadores M, los valores extremos, las pruebas de normalidad, el histograma, la gráfica Q-Q normal de coste, la gráfica Q-Q normal sin tendencia de coste y el diagrama de cajas y bigotes. En base a lo anterior hemos calculado finalmente el margen de error para cada línea de producción estudiada, cogiendo los valores correspondientes a los límites inferiores y superiores, por lo que calculamos los casos más desfavorables, según la expresión siguiente:

$$\text{margen de error (42/45\%)} = ((\text{coste total} - \text{limite inferior}) / \text{coste total}) \times 100$$

$$\text{margen de error (42/45\%)} = ((\text{coste total} - \text{limite superior}) / \text{coste total}) \times 100$$

### 7.6.1 Simulación para una producción de 500 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	500,00	8	100,0%	0	0,0%	8	100,0%

Tabla 159. Procesamiento de datos. Producción de 500 m<sup>3</sup>/día

Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	500,00	Media	164,5238	0,43426	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	163,4969	
			Límite superior	165,5506	
		Media recortada al 5%	164,5092		
		Mediana	164,5000		
		Varianza	1,509		
		Desv. típ.	1,22828		
Mínimo	162,91				

	Máximo	166,40	
	Rango	3,49	
	Amplitud intercuartil	2,10	
	Asimetría	0,132	0,752
	Curtosis	-1,297	1,481

Tabla 160. Descriptivos

## Estimadores-M

	Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
<b>Coste</b>	<b>500,00</b>	164,4867	164,5018	164,4857	164,5020

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 161. Estimadores M

 Valores extremos<sup>a</sup>

	Producción		Número del caso	Valor	
<b>Coste</b>	<b>500,00</b>	Mayores	1	7	166,40
			2	5	165,48
			3	2	165,40
			4	6	165,00
		Menores	1	4	162,91
			2	8	163,22
			3	3	163,78
			4	1	164,00

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

Tabla 162. Valores extremos

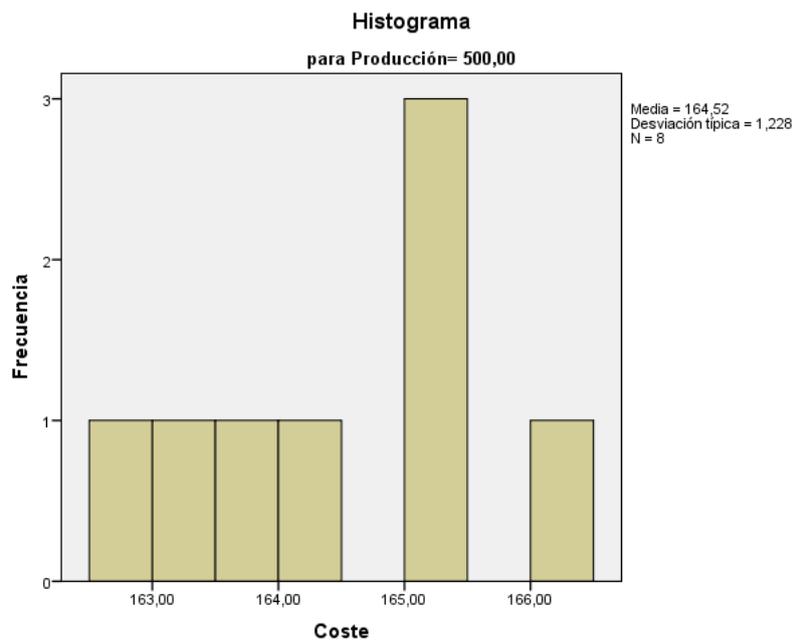
## Pruebas de normalidad

	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Coste</b>	<b>500,00</b>	0,165	8	0,200*	0,950	8	0,706

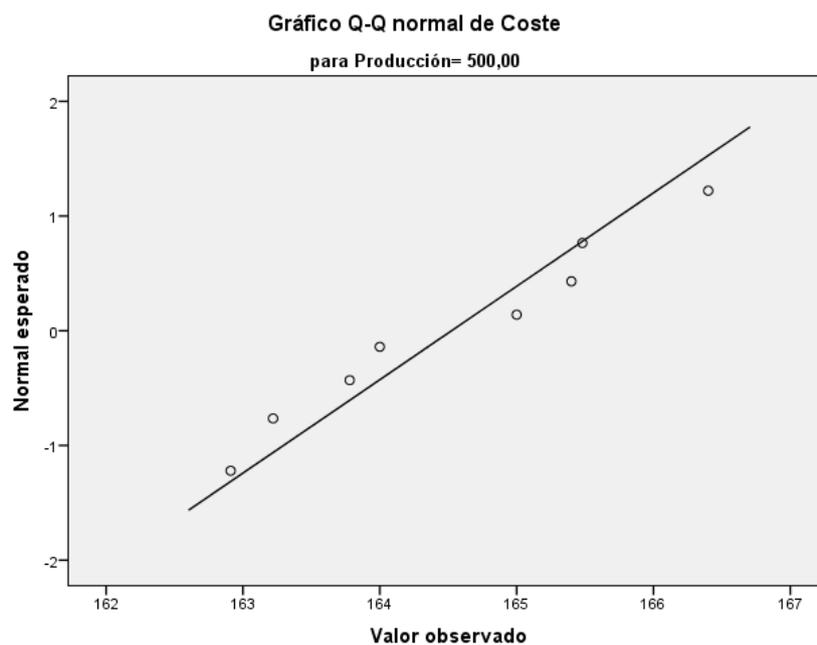
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

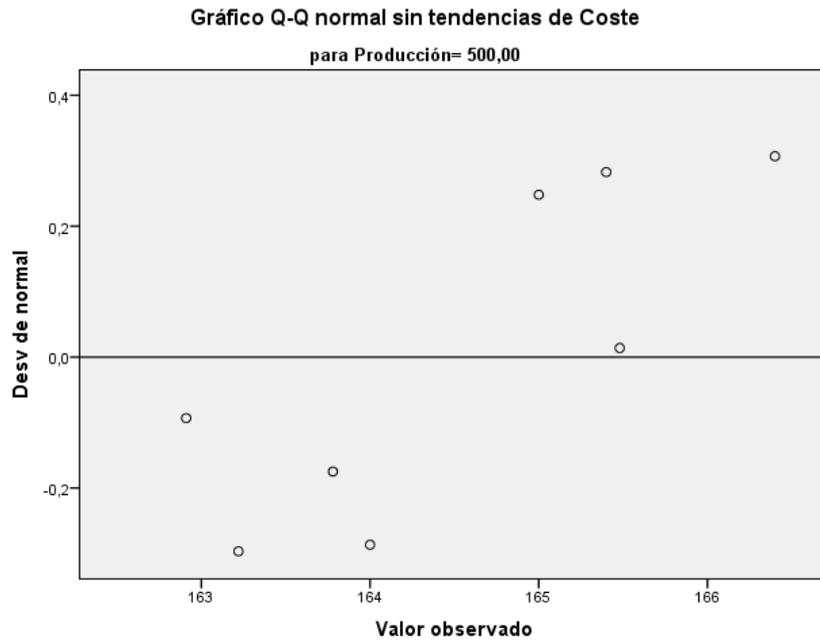
Tabla 163. Pruebas de normalidad



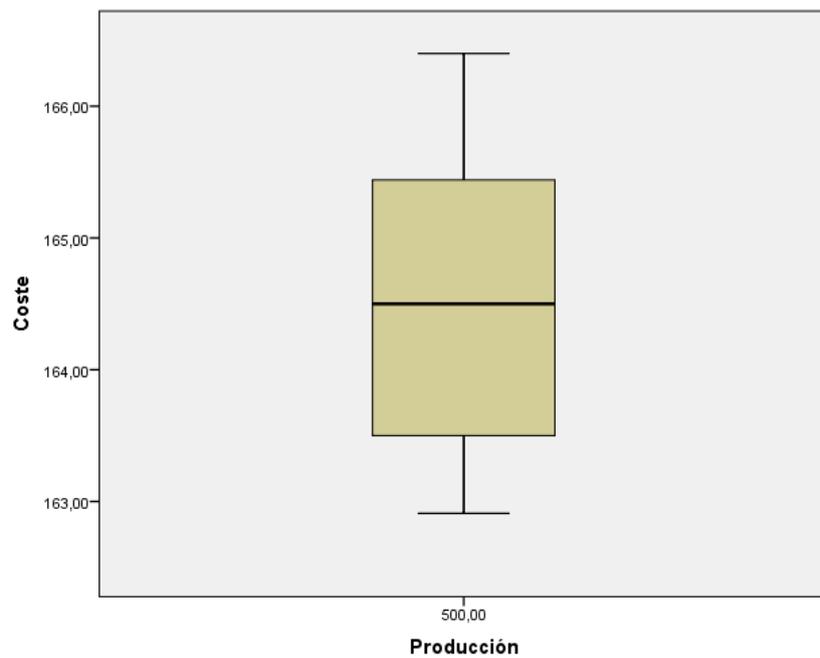
Gráfica 70. Histograma. Producción de 500 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 71. Q-Q normal de coste



Gráfica 72. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 73. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((164,72-163,49)/164,72) \times 100 = 0,7\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((164,72-165,55)/164,72) \times 100 = 0,5\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((164,61-163,49)/164,61) \times 100 = 0,7\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((164,61-165,55)/164,61) \times 100 = 0,6\%$$

7.6.2 Simulación para una producción de 1.000 m<sup>3</sup>/día

## Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	1000,00	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Tabla 164. Procesamiento de datos. Producción de 1.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	1000,00	Media	112,9533	0,16558	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	112,5277	
			Límite superior	113,3790	
		Media recortada al 5%	112,9548		
		Mediana	112,9400		
		Varianza	0,165		
		Desv. típ.	0,40559		
		Mínimo	112,40		
		Máximo	113,48		
		Rango	1,08		
		Amplitud intercuartil	0,73		
		Asimetría	-0,044	0,845	
		Curtosis	-1,309	1,741	

Tabla 165. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Coste 1000,00	112,9544	112,9512	112,9534	112,9512

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es 1,340\* $\pi$ .

Tabla 166. Estimadores M

Valores extremos<sup>a</sup>

Producción		Número del caso		Valor	
Coste	1000,00	Mayores	1	4	113,48
			2	6	113,29
			3	2	113,09
		Menores	1	1	112,40
			2	3	112,67
			3	5	112,79

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

Tabla 167. Valores extremos

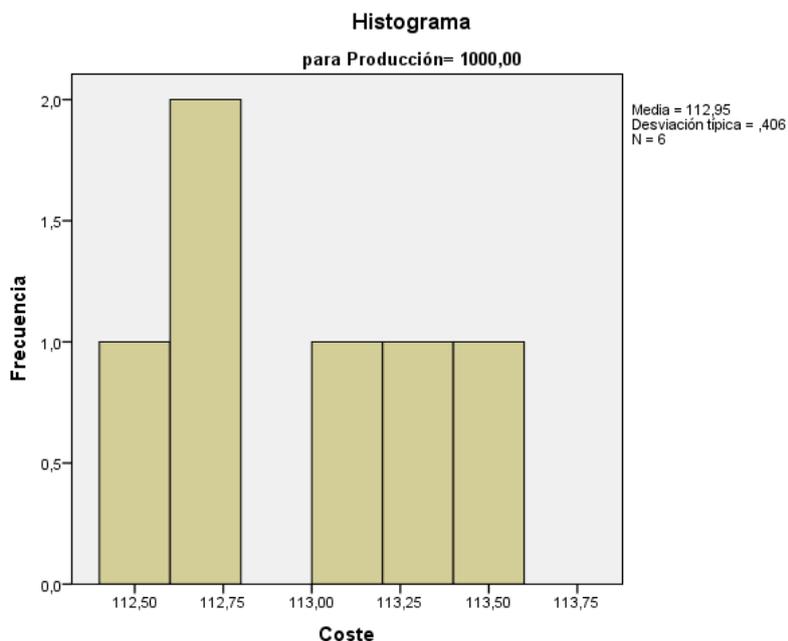
Pruebas de normalidad

	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste	1000,00	0,156	6	0,200*	0,974	6	0,916

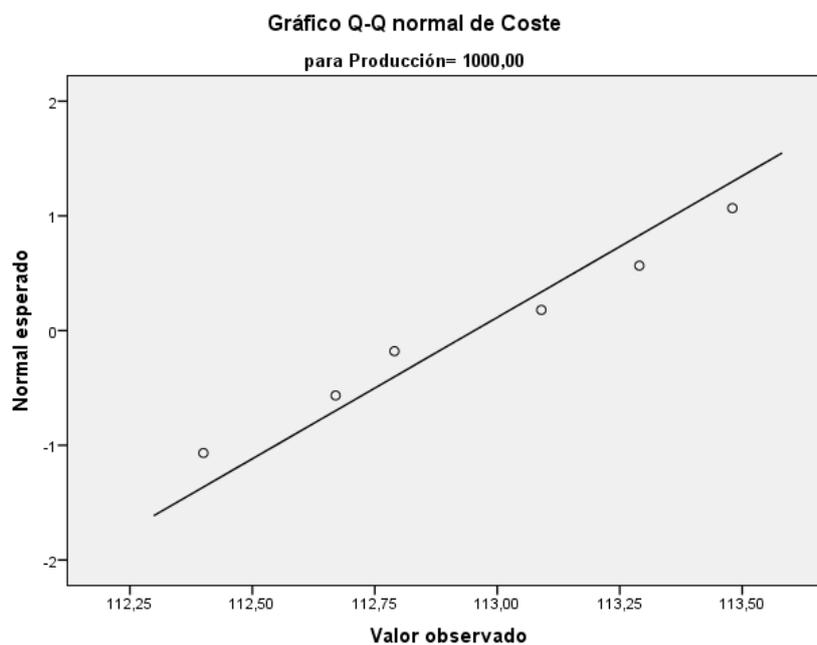
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

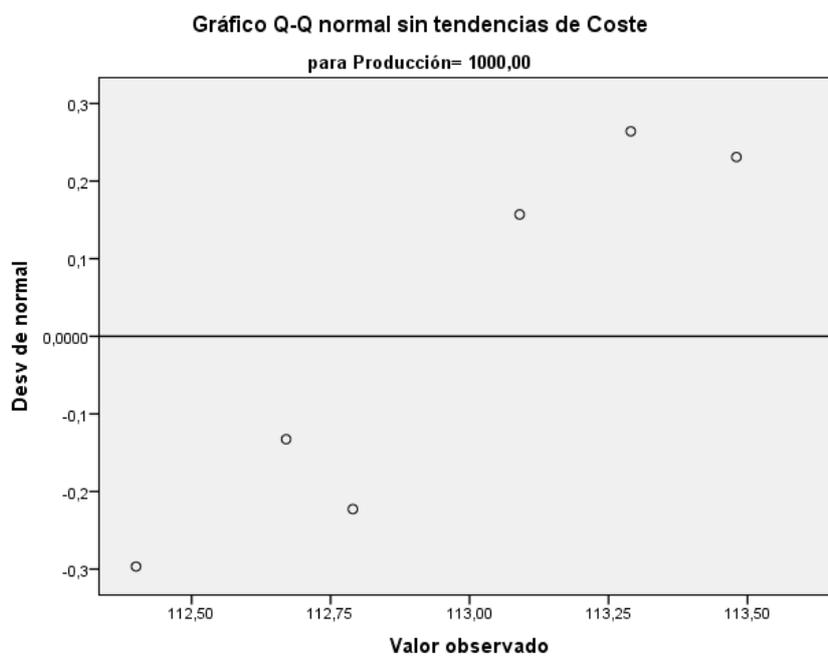
Tabla 168. Pruebas de normalidad



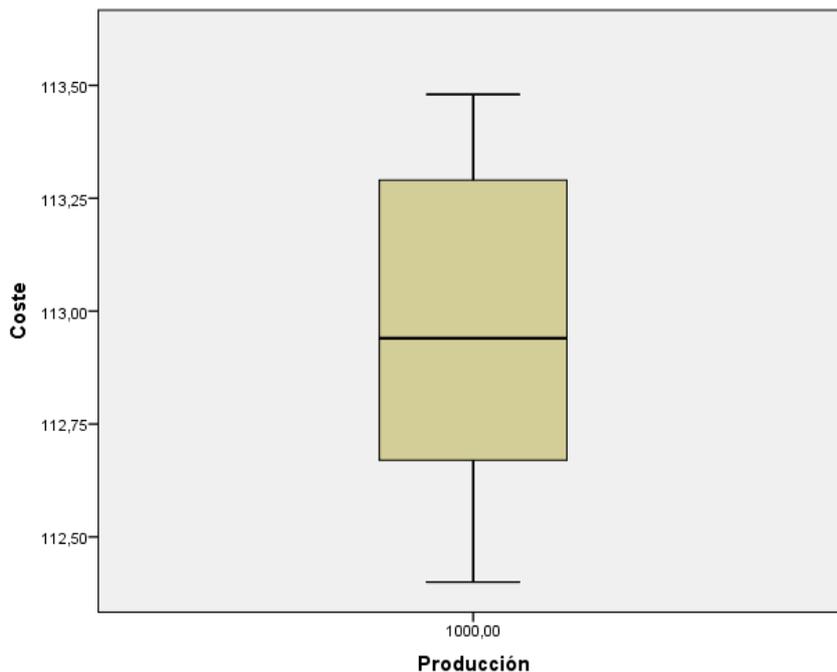
Gráfica 74. Histograma. Producción de 1.000 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 75. Q-Q normal de coste



Gráfica 76. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 77. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

margen de error (42%) =  $((112,86 - 112,52) / 112,86) \times 100 = 0,3\%$

margen de error (42%) =  $((112,86 - 113,37) / 112,86) \times 100 = 0,5\%$

margen de error (45%) =  $((112,82 - 112,52) / 112,82) \times 100 = 0,3\%$

margen de error (45%) =  $((112,82 - 113,37) / 112,82) \times 100 = 0,5\%$

### 7.6.3 Simulación para una producción de 2.000 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	2000,00	10	100,0%	0	0,0%	10	100,0%

Tabla 169. Procesamiento de datos. Producción de 2.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	2000,00	Media	88,9080	0,13253	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	88,6082	
			Límite superior	89,2078	
		Media recortada al 5%	88,9156		
		Mediana	89,0250		
		Varianza	0,176		
		Desv. típ.	0,41909		
		Mínimo	88,23		
		Máximo	89,45		
		Rango	1,22		
		Amplitud intercuartil	0,75		
		Asimetría	-0,378	0,687	
		Curtosis	-1,266	1,334	

Tabla 170. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>	
Coste	2000,00	88,9568	88,9546	88,9327	88,9546

a. La constante de ponderación es 1,339. b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 171. Estimadores M

## Valores extremos

Producción		Número del caso	Valor	
Coste	2000,00	Mayores	1	89,45
			2	89,34
			3	89,25
			4	89,13
			5	89,10
		Menores	1	88,23
			2	88,40
			3	88,56
			4	88,67
			5	88,95

Tabla 172. Valores extremos

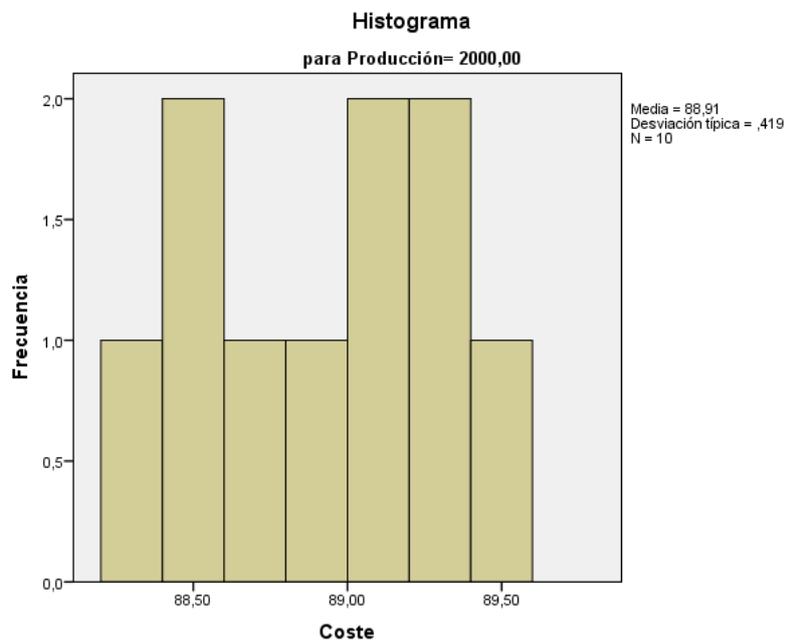
Pruebas de normalidad

	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste	2000,00	0,177	10	0,200*	0,941	10	0,563

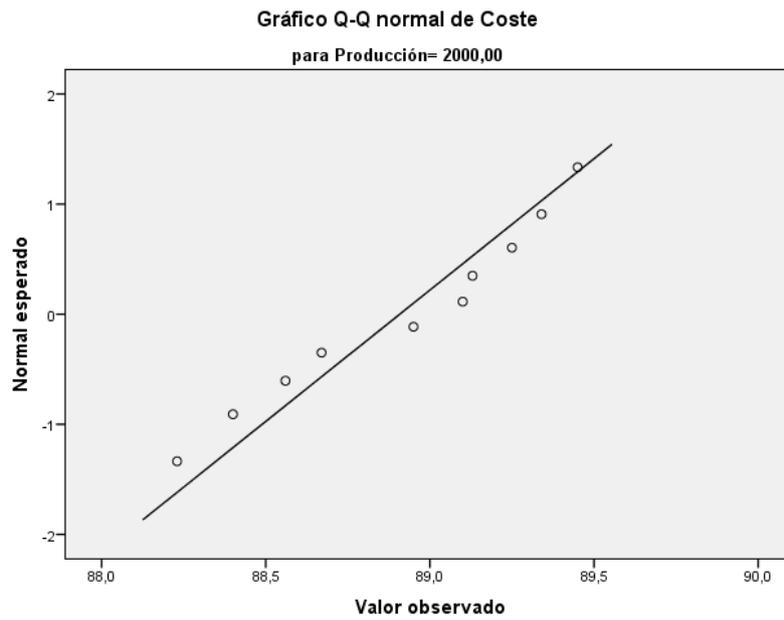
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

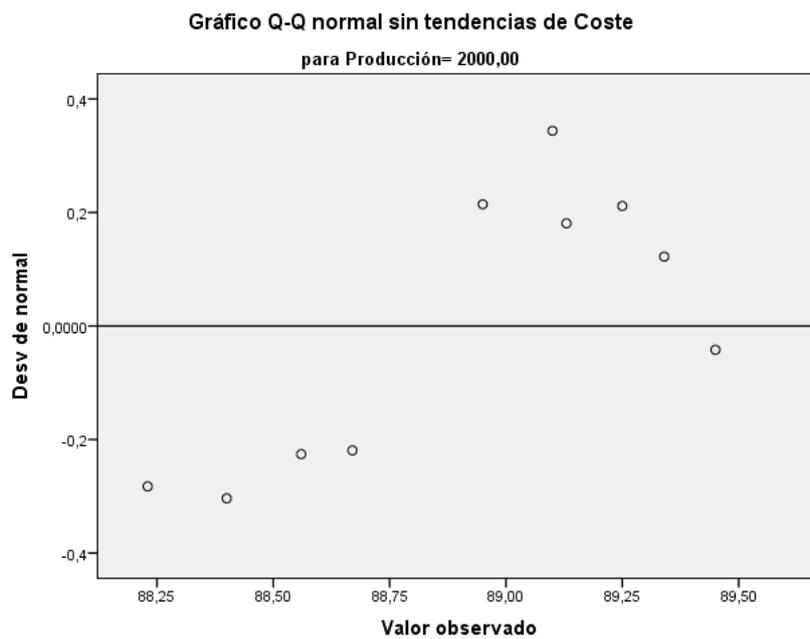
Tabla 173. Pruebas de normalidad



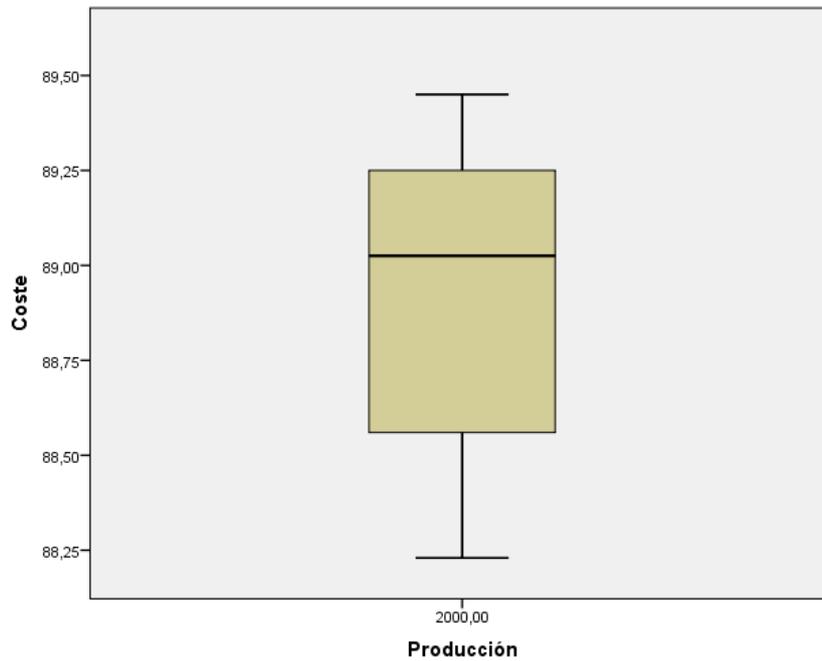
Gráfica 78. Histograma. Producción de 2.000 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 79. Q-Q normal de coste



Gráfica 80. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 81. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((88,79 - 88,60) / 88,79) \times 100 = 0,2\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((88,79 - 89,20) / 88,79) \times 100 = 0,5\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((88,90 - 88,60) / 88,90) \times 100 = 0,4\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((88,90 - 89,20) / 88,90) \times 100 = 0,4\%$$

### 7.6.4 Simulación para una producción de 5.000 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	5000,00	5	100,0%	0	0,0%	5	100,0%

Tabla 174. Procesamiento de datos. Producción de 5.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	5000,00	Media	71,6520	0,26079	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	70,9279	
			Límite superior	72,3761	
		Media recortada al 5%	71,6450		
		Mediana	71,6000		
		Varianza	0,340		
		Desv. típ.	0,58316		
		Mínimo	70,98		
		Máximo	72,45		
		Rango	1,47		
		Amplitud intercuartil	1,10		
		Asimetría	0,367	0,913	
		Curtosis	-1,005	2,000	

Tabla 175. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>	
Coste	5000,00	71,6068	71,6120	71,6118	71,6123

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 176. Estimadores M

Valores extremos<sup>a</sup>

Producción		Número del caso	Valor	
Coste	5000,00	Mayores	1	72,45
			2	71,98
		Menores	1	70,98
			2	71,25

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

Tabla 177. Valores extremos

Pruebas de normalidad

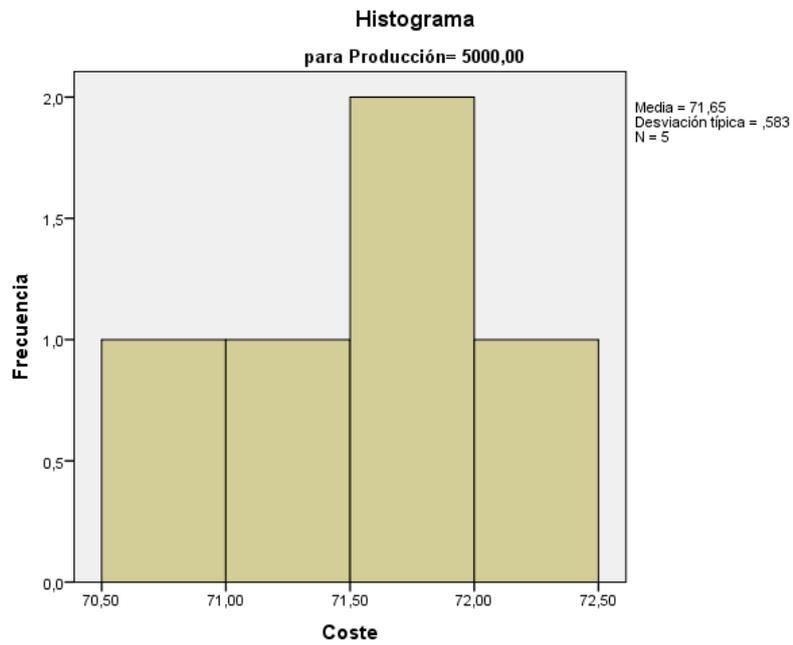
	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Coste</b>	<b>5000,00</b>	0,155	5	0,200*	0,978	5	0,922

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

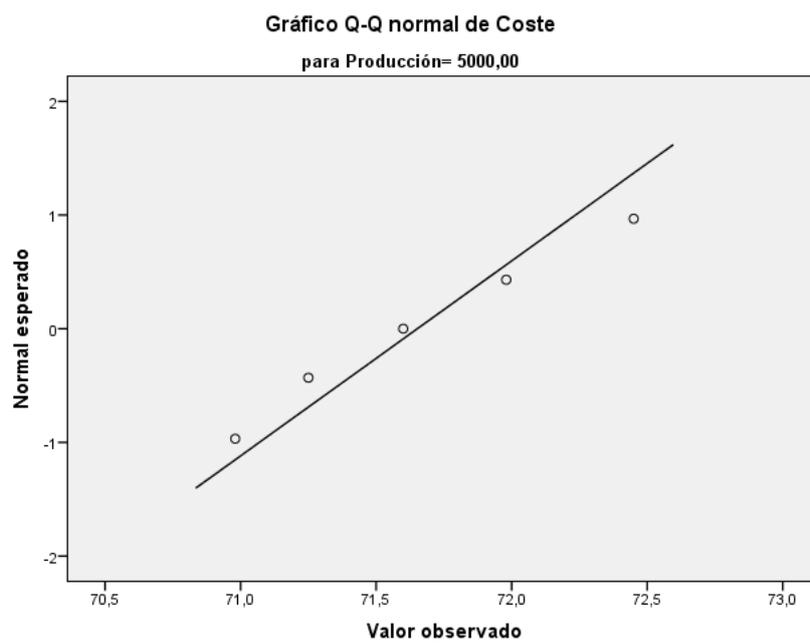
a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 178. Pruebas de normalidad

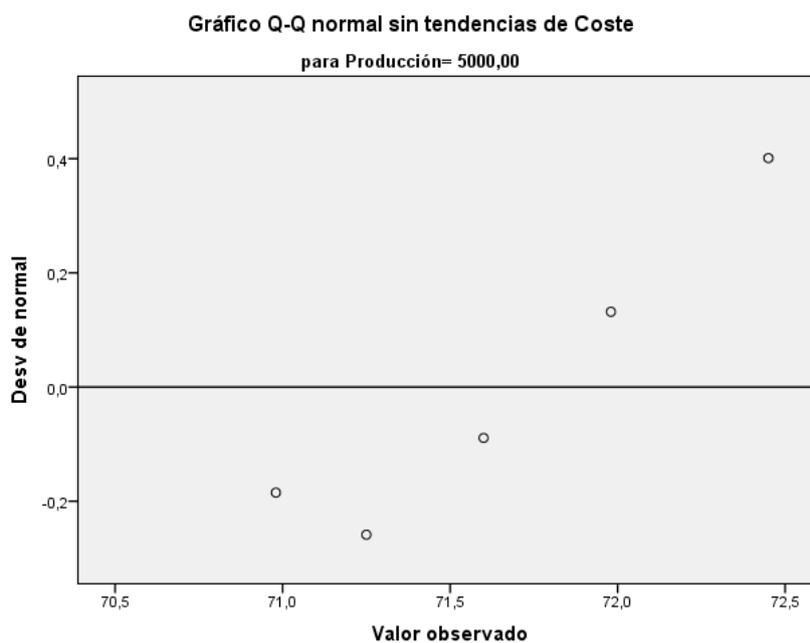
Histogramas



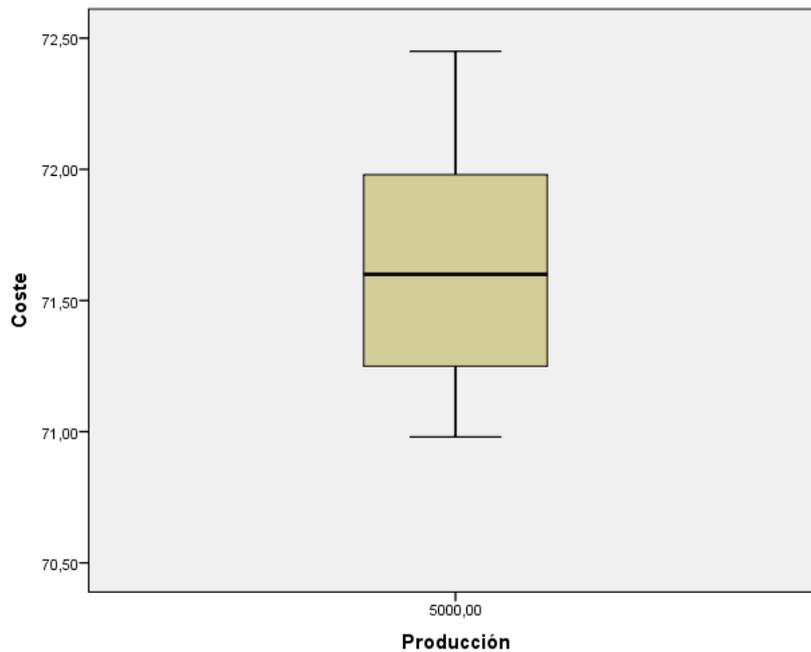
Gráfica 82. Histograma. Producción de 5.000 m³/día



Gráfica 83. Q-Q normal de coste



Gráfica 84. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 85. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((71,31 - 70,92) / 71,31) \times 100 = 0,6\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((71,31 - 72,37) / 71,31) \times 100 = 1,5\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((71,32 - 70,92) / 71,32) \times 100 = 0,6\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((71,32 - 72,37) / 71,32) \times 100 = 1,5\%$$

### 7.6.5 Simulación para una producción de 7.500 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	7500,00	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Tabla 179. Procesamiento de datos. Producción de 7.500 m<sup>3</sup>/día

Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	7500,00	Media	67,5467	0,23923	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	66,9317	
			Límite superior	68,1616	
		Media recortada al 5%	67,5741		
		Mediana	67,6200		
		Varianza	0,343		
		Desv. típ.	0,58599		
		Mínimo	66,48		
		Máximo	68,12		
		Rango	1,64		
		Amplitud intercuartil	0,81		
		Asimetría	-1,388	0,845	
		Curtosis	2,317	1,741	

Tabla 180. Descriptivos

Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Coste 7500,00	67,6582	67,7224	67,6721	67,7320

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 181. Estimadores M

Valores extremos<sup>a</sup>

Producción		Número del caso	Valor
Coste	Mayores	1	68,12
		2	67,99
		3	67,75
	Menores	1	66,48
		2	67,45
		3	67,49

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

Tabla 182. Valores extremos

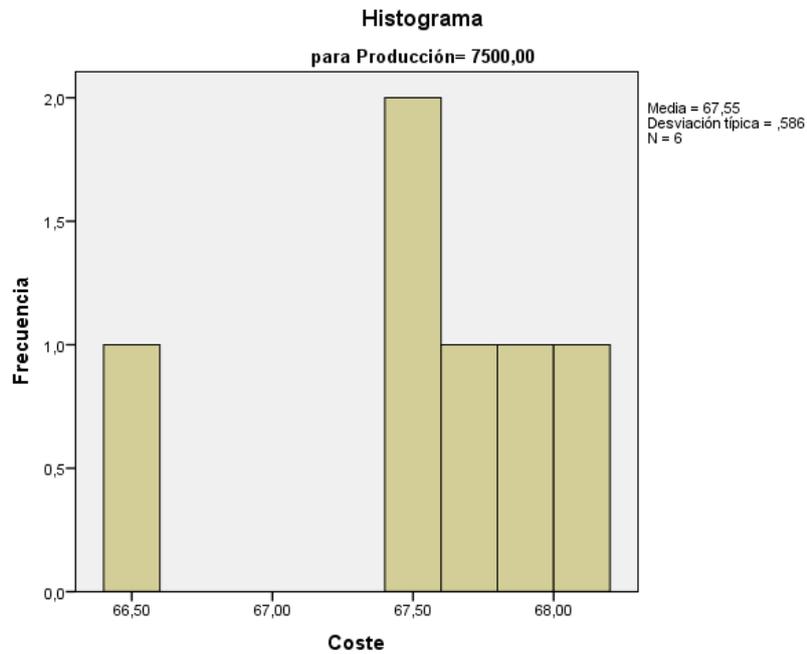
Pruebas de normalidad

	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Coste</b>	<b>7500,00</b>	0,268	6	0,200*	0,880	6	0,268

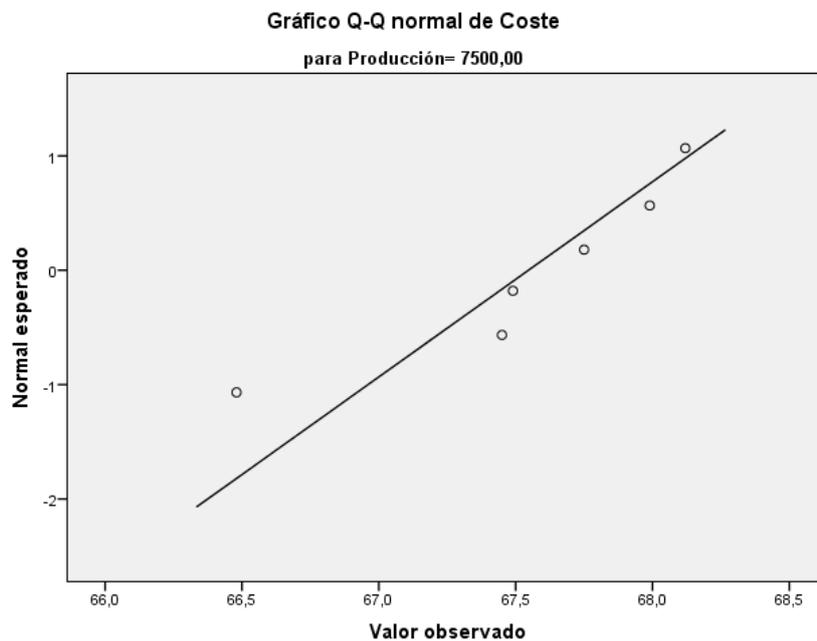
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

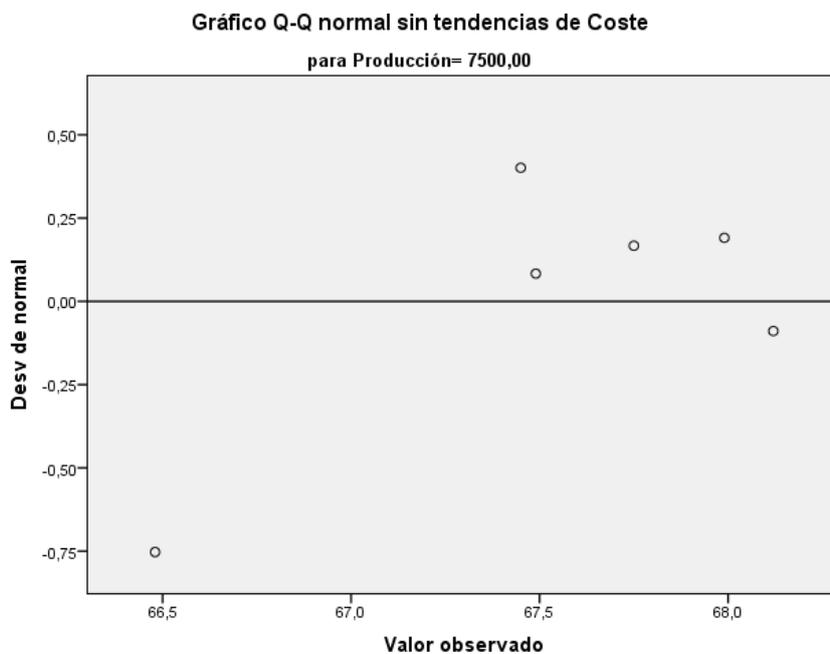
Tabla 183. Pruebas de normalidad



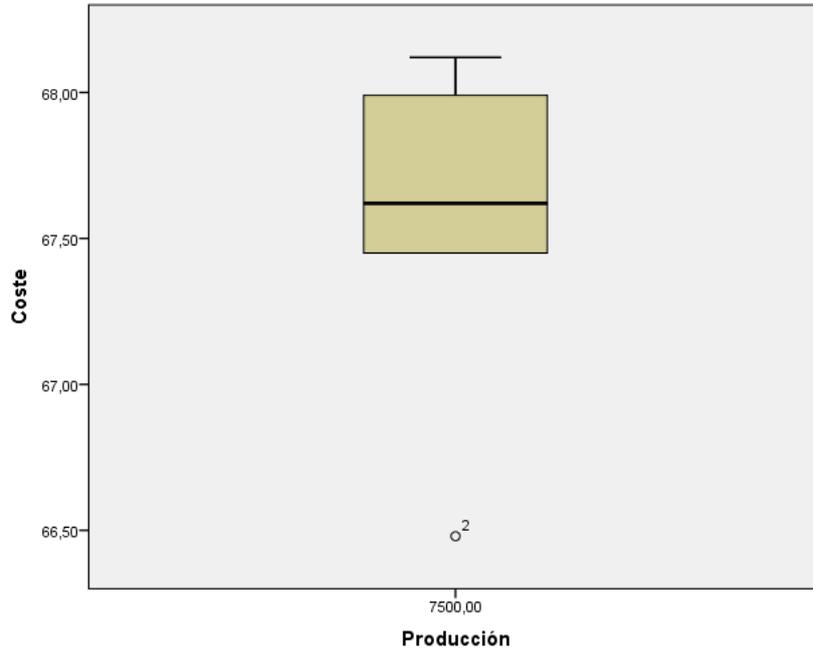
Gráfica 86. Histograma. Producción de 7.500 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 87. Q-Q normal de coste



Gráfica 88. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 89. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((67,56 - 66,93) / 67,56) \times 100 = 0,9\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((67,56 - 68,16) / 67,56) \times 100 = 0,9\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((67,89 - 66,93) / 67,89) \times 100 = 0,4\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((67,89 - 68,16) / 67,89) \times 100 = 0,5\%$$

### 7.6.6 Simulación para una producción de 10.000 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	10000,00	5	100,0%	0	0,0%	5	100,0%

Tabla 184. Procesamiento de datos. Producción de 10.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	10000,00	Media	66,2660	0,09842	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	65,9927	
			Límite superior	66,5393	
		Media recortada al 5%	66,2661		
		Mediana	66,2500		
		Varianza	0,048		
		Desv. típ.	0,22007		
		Mínimo	65,99		
		Máximo	66,54		
		Rango	0,55		
		Amplitud intercuartil	0,42		
		Asimetría	0,027	0,913	
		Curtosis	-1,421	2,000	

Tabla 185. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>	
Coste	10000,00	66,2607	66,2615	66,2658	66,2615

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 186. Estimadores M

Valores extremos<sup>a</sup>

Producción	Número del caso	Valor	
Coste	Mayores	1	66,54
		2	66,42
	Menores	1	65,99
		2	66,13

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

Tabla 187. Valores extremos

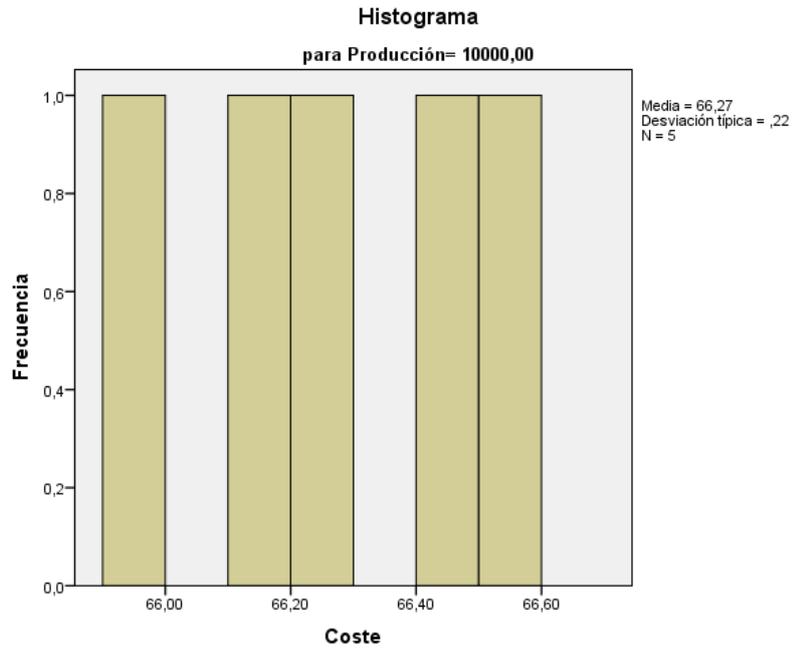
Pruebas de normalidad

	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste	10000,00	0,158	5	0,200*	0,979	5	0,931

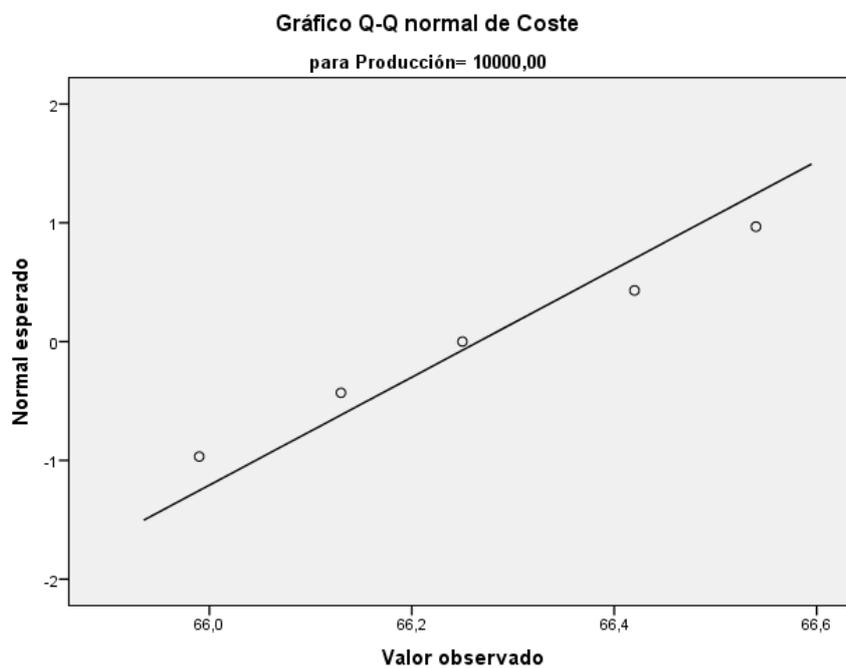
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

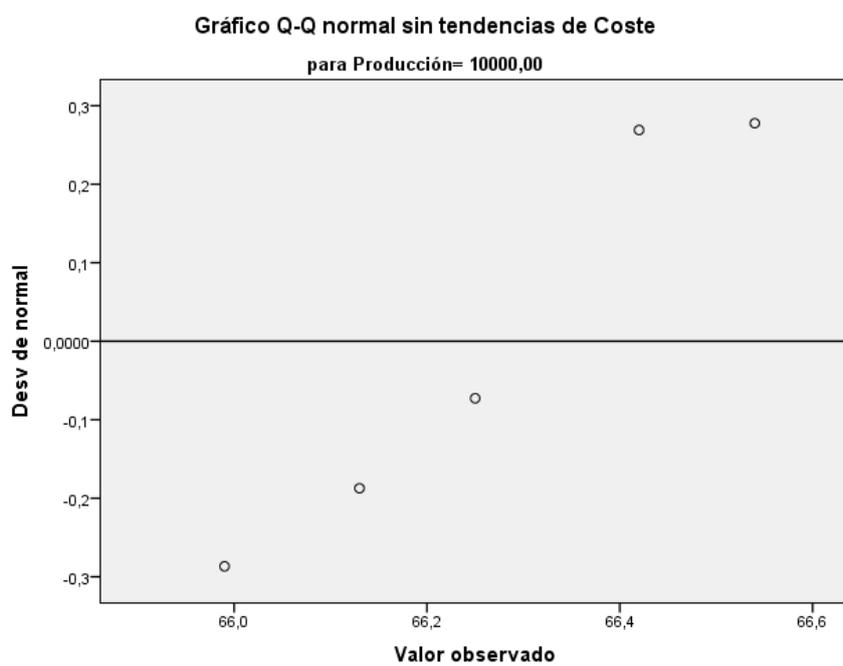
Tabla 188. Pruebas de normalidad



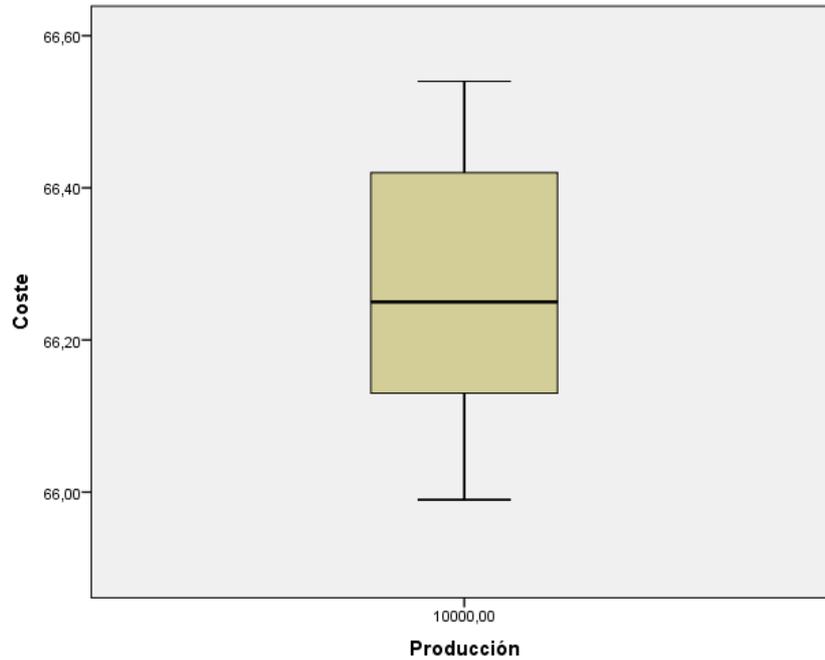
Gráfica 90. Histograma. Producción de 10.000 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 91. Q-Q normal de coste



Gráfica 92. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 93. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

margen de error (42%) =  $((65,99 - 65,98) / 65,99) \times 100 = 0,1\%$

margen de error (42%) =  $((65,99 - 66,53) / 65,99) \times 100 = 0,8\%$

margen de error (45%) =  $((66,22 - 65,98) / 66,22) \times 100 = 0,4\%$

margen de error (45%) =  $((66,22 - 66,53) / 66,22) \times 100 = 0,5\%$

### 7.6.7 Simulación para una producción de 12.000 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	12000,00	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

Tabla 189. Procesamiento de datos. Producción de 12.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	12000,00	Media	65,7075	0,11528	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	65,3406	
			Límite superior	66,0744	
		Media recortada al 5%	65,7089		
		Mediana	65,7200		
		Varianza	0,053		
		Desv. típ.	0,23056		
		Mínimo	65,44		
		Máximo	65,95		
		Rango	0,51		
		Amplitud intercuartil	0,44		
		Asimetría	-0,207	1,014	
		Curtosis	-2,860	2,619	

Tabla 190. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Coste 12000,00	65,7189	65,7134	65,7075	65,7134

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 191. Estimadores M

 Valores extremos<sup>a</sup>

Producción		Número del caso	Valor	
Coste	12000,00	Mayores	1	65,95
			2	65,84
		Menores	1	65,44
			2	65,60

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

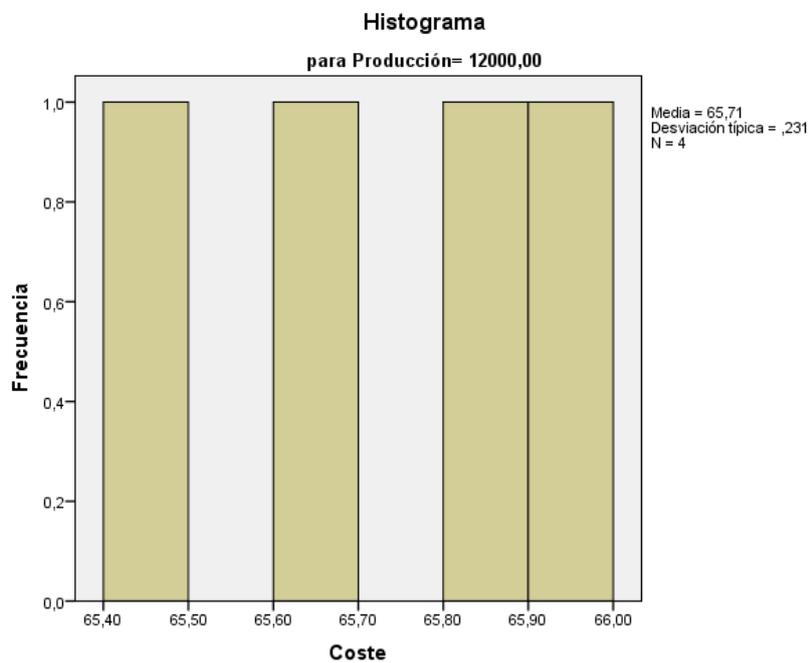
Tabla 192. Valores extremos

Pruebas de normalidad

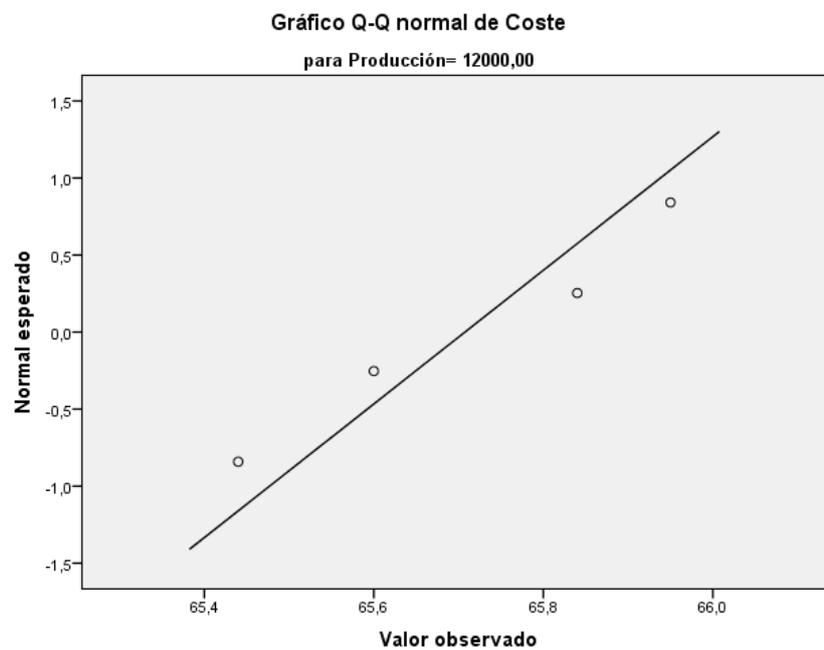
	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste	12000,00	0,217	4	.	0,956	4	0,753

a. Corrección de la significación de Lilliefors

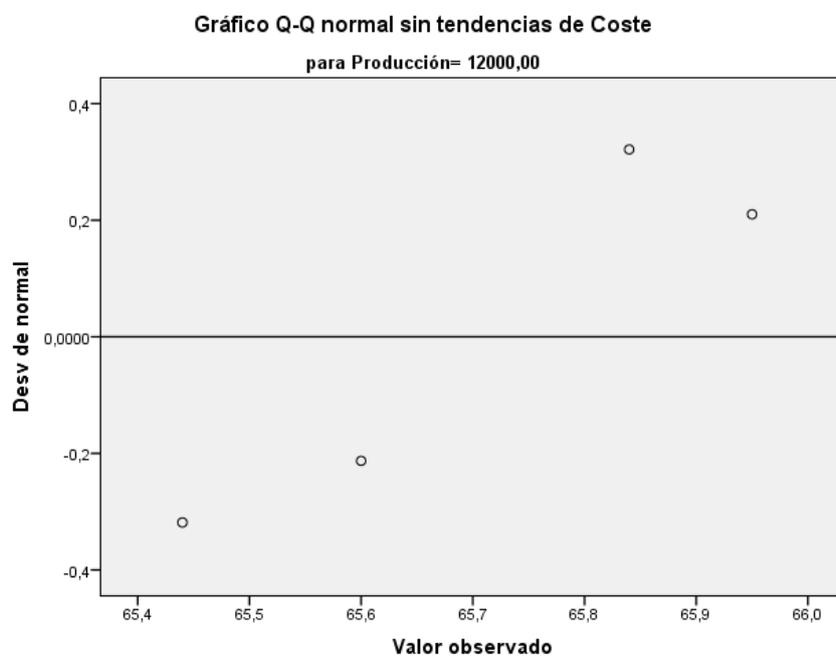
Tabla 193. Pruebas de normalidad



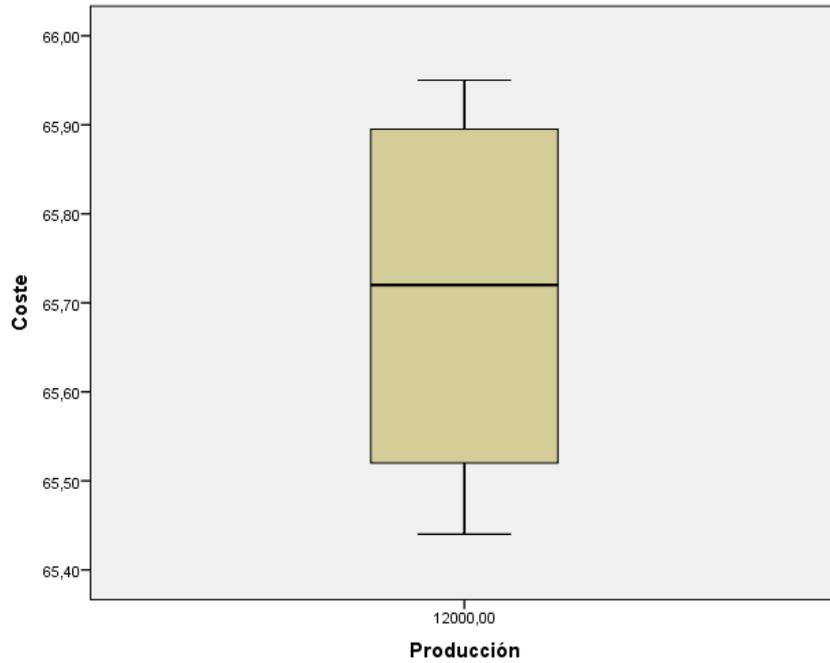
Gráfica 94. Histograma. Producción de 12.000 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 95. Q-Q normal de coste



Gráfica 96. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 97. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((65,42-65,34)/65,42) \times 100 = 0,2\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((65,42-66,07)/65,42) \times 100 = 1,0\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((65,52-65,34)/65,52) \times 100 = 0,3\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((65,52-66,07)/65,52) \times 100 = 1,0\%$$

### 7.6.8 Simulación para una producción de 15.000 m<sup>3</sup>/día

Resumen del procesamiento de los casos

	Producción	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Coste	15000,00	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

Tabla 194. Procesamiento de datos. Producción de 15.000 m<sup>3</sup>/día

## Descriptivos

Producción		Estadístico	Error típ.		
Coste	15000,00	Media	64,1200	0,37807	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	62,4933	
			Límite superior	65,7467	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	64,2800		
		Varianza	0,429		
		Desv. típ.	0,65483		
		Mínimo	63,40		
		Máximo	64,68		
		Rango	1,28		
		Amplitud intercuartil	.		
		Asimetría	-1,034	1,225	
		Curtosis	.	.	

Tabla 195. Descriptivos

## Estimadores-M

Producción	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Coste 15000,00	64,2280	64,2124	64,1790	64,2122

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Tabla 196. Estimadores M

Valores extremos<sup>a</sup>

Producción	Número del caso	Valor
Coste 15000,00	Mayores 1	3 64,68
	Menores 1	1 63,40

a. El número de valores extremos solicitado supera al número de puntos. Se representará un número menor.

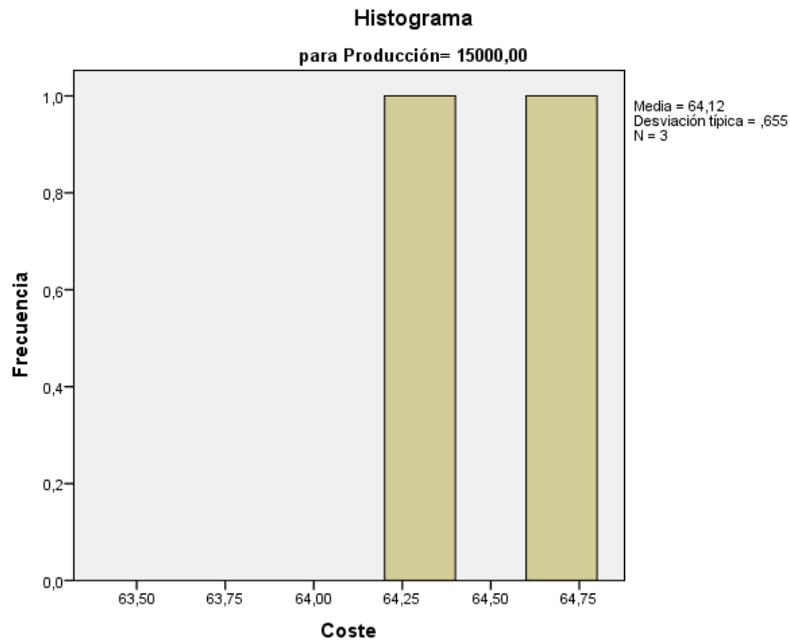
Tabla 197. Valores extremos

Pruebas de normalidad

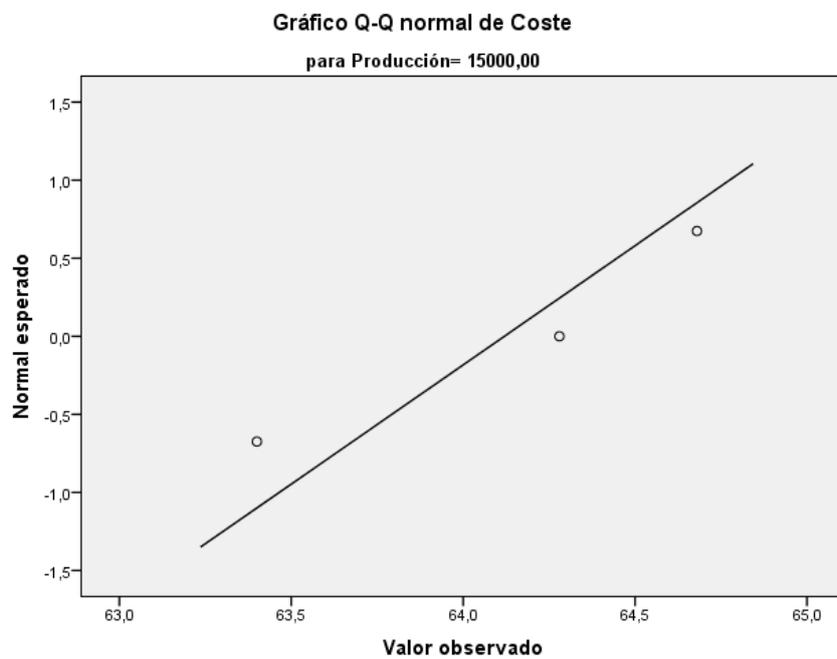
	Producción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste	15000,00	0,263	3	.	0,955	3	0,593

a. Corrección de la significación de Lilliefors

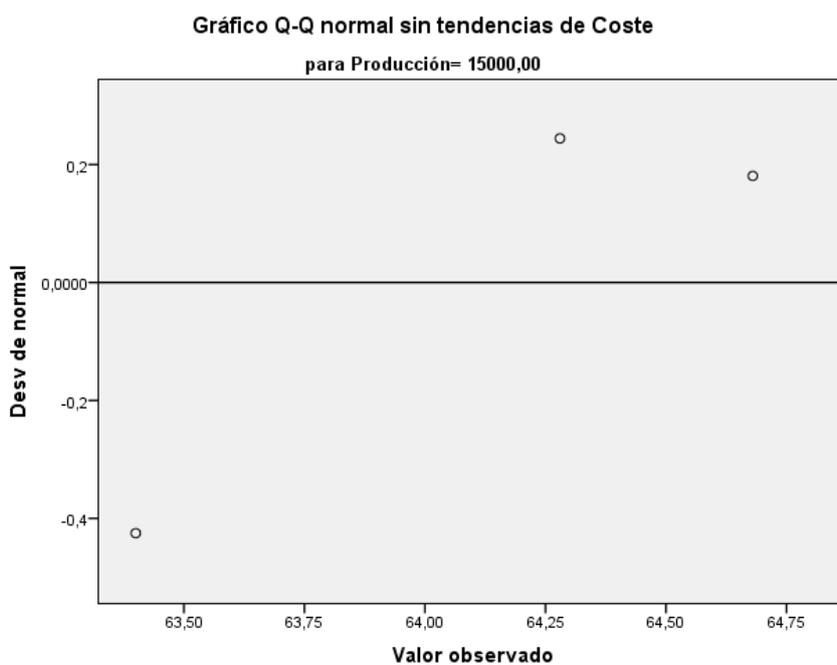
Tabla 198. Pruebas de normalidad



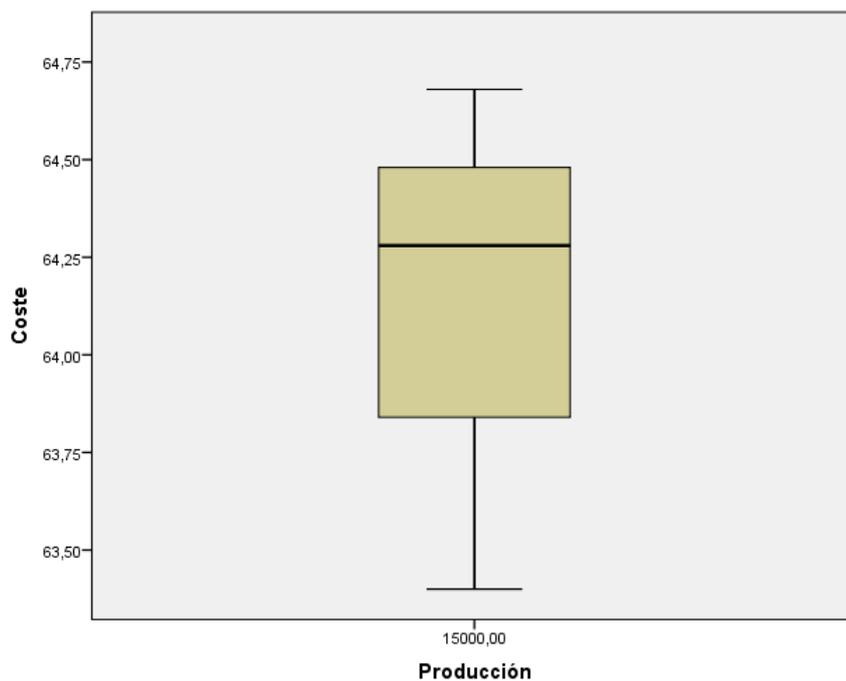
Gráfica 98. Histograma. Producción de 15.000 m<sup>3</sup>/día



Gráfica 99. Q-Q normal de coste



Gráfica 100. Q-Q normal sin tendencia de coste



Gráfica 101. Diagrama de cajas y bigotes Coste/Producción

$$\text{margen de error (42\%)} = ((63,91 - 62,49) / 63,91) \times 100 = 2,2\%$$

$$\text{margen de error (42\%)} = ((63,91 - 65,74) / 63,91) \times 100 = 3,0\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((64,12 - 62,49) / 64,12) \times 100 = 2,5\%$$

$$\text{margen de error (45\%)} = ((64,12 - 65,74) / 64,12) \times 100 = 2,5\%$$



# CAPITULO 8

## Análisis de Resultados



## **Capítulo 8. Análisis de Resultados**

### **8.1 Introducción**

Presentamos en este capítulo los resultados obtenidos en la investigación, con sus tablas correspondientes así como las gráficas obtenidas. Realizamos también en este capítulo un primer análisis básico de los resultados para mostrar en el capítulo siguiente las conclusiones a partir del análisis comentado.

### **8.2 Análisis de Resultados y Gráficas**

Llegado este momento y teniendo en cuenta la metodología empleada para cada coste, y habiendo realizado la totalidad de los cálculos, pasamos a continuación a mostrar los resultados obtenidos, así como la gráfica para cada uno de los costes. Evidentemente cada coste es realizado en base a un cuadro de precios actualizado y referenciado a las Islas Canarias. Presentamos al final de este apartado las gráficas con los costes totales, tanto para una conversión del 42% como para el 45%.

#### **8.2.1 Costes de Inversión**

##### **8.2.1.1 Coste de Inversión o capital inicial**

En el apartado de análisis de costes, explicamos con detalle las diferentes etapas en las cuales podíamos definir el coste de inversión. En el apartado en el cual nos encontramos hemos ido dando el valor del coste correspondiente a cada uno de los elementos que conforman cada una de las etapas. Pasamos pues a observar el valor del coste de inversión correspondiente a cada una de las etapas, y por tanto el valor del coste de inversión total. En este caso lo mostramos para una determinada combinación. En el tomo II correspondiente a datos, gráficas y cuadro de precios se encuentra la totalidad de las combinaciones investigadas en la T.D.

Es importante comentar que tanto los precios unitarios como los precios finales están expresados en €.

1.1 Caudal de 500 m<sup>3</sup>/día y factor de conversión del 42%

<b>ETAPA 1. TOMA Y BOMBEO DE AGUA DE MAR</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Bomba sumergible pozo	1	11 kW	3.259,00	3.259,00
Tubería de Impulsión	200	160 mm	105,39	21.078,00
Depósito de alimentación	1	14,4 m <sup>3</sup>	196,00	2.822,40
Grupo de presión	1	5 kW	2.000,00	2.000,00
<b>TOTAL (ETAPA 1)</b>				<b>29.159,40</b>

<b>ETAPA 2. PRE-TRATAMIENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>				
<b>PRE-TRATAMIENTOS FÍSICOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Filtros de arena	1	Sfil=5 H 1440	18.140,00	18.140,00
Filtros de cartucho	17	8320 € dep.	12,00	8.524,00
<b>TOTAL</b>				<b>26.664,00</b>
<b>PRE-TRATAMIENTOS QUÍMICOS</b>				
<b>DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO SODICO</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Depósito	2	DOSAPACK	4.662,00	9.324,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				<b>9.324,00</b>
<b>DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Depósito	2	DOSAPACK	1.120,00	2.240,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				<b>2.240,00</b>
<b>DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Depósito	2	DOSAPACK	1.880,00	3.760,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				<b>3.760,00</b>

<b>ADICCIÓN DE DISPERSANTE O ANTIINCRUSTANTE</b>				
ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Depósito	2	DOSAPACK	2.100,00	4.200,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				4.200,00
<b>DOSIFICACIÓN DE BISULFITO SÓDICO</b>				
ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Depósito	2	DOSAPACK	2.197,00	4.394,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				4.394,00
<b>TOTAL (ETAPA 2)</b>				50.582,00

<b>ETAPA 3. GRUPO MOTOBOMBA DE ALTA PRESIÓN</b>				
ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Grupo de AP	1	51 kW	10.658,00	10.658,00
Booster	1	5 kW	2.000,00	2.000,00
<b>TOTAL (ETAPA 3)</b>				12.658,00

<b>ETAPA 4. BASTIDORES DE MEMBRANA SEMIPERMEABLE</b>				
ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Membranas	48	SW30HRLE400	600,00	28.800,00
<b>TOTAL (ETAPA 4)</b>				28.800,00

<b>ETAPA 5. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA</b>				
ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
ERI	1	PX - 140S	35.700,00	35.700,00
<b>TOTAL (ETAPA 5)</b>				35.700,00

<b>ETAPA 6. POST-TRATAMIENTO</b>				
<b>REMINERALIZACIÓN. AJUSTE PH</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Equipo de PRFV	2	Suministro e inst.	1.600,00	3.200,00
<b>TOTAL</b>				3.200,00
<b>POST-CLORACIÓN - DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO SODICO</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Depósito	2	DOSAPACK	900,00	1.800,00
Bomba dosificadora				
Agitador				
<b>TOTAL</b>				1.800,00
<b>TOTAL (ETAPA 6)</b>				5.000,00

<b>ETAPA 7. COMPONENTES VARIOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Medidores de pH	5		50,00	250,00
Medidores de temperatura	4		40,00	160,00
Manómetros	7		34,00	238,00
Caudalímetros	4		200,00	800,00
Depósito agua tratada	1	14,4 m <sup>3</sup>	196,00	2.822,40
Presostatos	5		150,00	750,00
Depósitos de eq. Osm.	1		3.000,00	3.000,00
<b>TOTAL (ETAPA 7)</b>				8.020,40

<b>ETAPA 8. INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
CGP e instalación interior	1		10.000,00	10.000,00
Red de MT (12/20 kV)				0,00
Centro de transformación				0,00
Red de BT	50	4x95 mm <sup>2</sup> Cu	60,00	3.000,00
<b>TOTAL (ETAPA 8)</b>				13.000,00

<b>ETAPA 9. BOMBEO A LOS CONSUMIDORES</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Bomba	1	5 kW	2.000,00	2.000,00
Tubería	500	100 mm	92,79	46.395,00
<b>TOTAL (ETAPA 9)</b>				48.395,00

<b>ETAPA 10. TERRENOS Y OBRA CIVIL</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO FINAL</b>
Terreno	1	100 m <sup>2</sup>	15.000,00	15.000,00
Obra Civil	1		31.360,00	31.360,00
Licencias y Proyectos	1		16.200,00	16.200,00
<b>TOTAL (ETAPA 10)</b>				62.560,00

<b>TOTAL ETAPAS DE INVERSION (500 m<sup>3</sup>/día-42%)</b>				
<b>TOTAL ETAPAS</b>				293.874,80 €

De lo recogido en estos presupuestos correspondiente al coste de inversión, obtendremos los datos necesarios para poder abordar el próximo apartado dedicado a la amortización de esta inversión.

#### 8.2.1.2 Coste de Amortización del capital inicial

Los valores cogidos como referencia y aportados por las entidades bancarias en marzo de 2013, nos muestran que para un interés del 4.5%, 15 años de amortización y un préstamo de 1.000.000 de euros, la mensualidad correspondiente es de 7.650 €/mes.

En la tabla que presentamos a continuación mostramos, en función del caudal y el factor de conversión los costes en diferentes maneras. La columna 2 corresponde a los valores recogidos del apartado anterior.

Evidentemente, con la interpolación necesaria y multiplicando por 12 los meses de amortización obtendremos la tercera columna, y con este dato, dividiéndolo entre la producción

y los 365 días del año, obtenemos la cuarta columna que corresponde a la repercusión en el m<sup>3</sup> de agua desalinizada en el coste total.

Mostramos a continuación las expresiones matemáticas para la obtención del coste en €/año y en c€/m<sup>3</sup>.

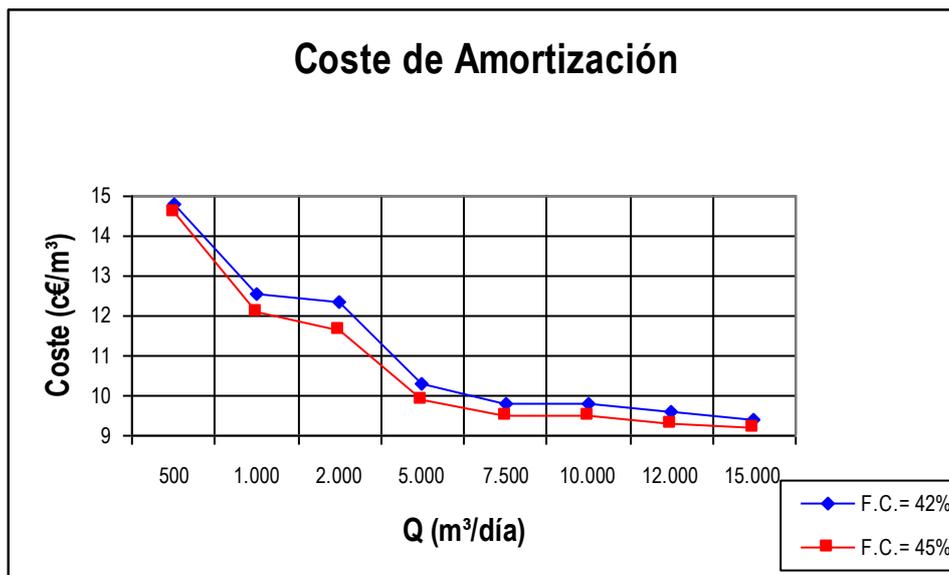
$$\text{Coste (€/año)} = C_{\text{Inversión}} \times 7.650 \times 12 / 1.000.000$$

$$\text{Coste (c€/m}^3\text{)} = C_{\text{€/año}} \times 100 / (365 \times Q_{\text{m}^3/\text{día}})$$

Caudal (m <sup>3</sup> /día)-F.C.(%)	Coste de Inversión	Coste en €/año	Coste en c€/m <sup>3</sup>
500-42	293.874,8	26.977,7	14,78
500-45	290.288,8	26.648,5	14,60
1.000-42	498.925,2	45.801,3	12,54
1.000-45	480.385,2	44.099,3	12,08
2.000-42	980.339,4	89.995,1	12,33
2.000-45	928.505,4	85.236,8	11,67
5.000-42	2.049.078,8	188.105,4	10,31
5.000-45	1.969.147,8	180.767,8	9,9
7.500-42	2.918.326,8	267.902,4	9,8
7.500-45	2.848.741,8	261.514,5	9,5
10.000-42	3.816.294,6	350.335,8	9,8
10.000-45	3.697.458,6	339.426,7	9,5
12.000-42	4.683.830,4	429.975,6	9,6
12.000-45	4.567.140,4	419.263,5	9,3
15.000-42	5.603.190,0	514.373,0	9,4
15.000-45	5.504.785,0	505.339,2	9,2

Tabla 199. Resultados del coste de amortización

En función de los datos de la tabla anterior, presentamos la gráfica del coste económico correspondiente a la amortización del capital inicial.



Gráfica 102. Resultados del coste de amortización

Podemos observar desde un primer momento, a la vista de la tabla y de la gráfica correspondiente al coste de amortización, que los valores comienzan a estabilizarse a partir de una producción de 7.500 m³/día. Dicho valor de estabilidad corresponde a un coste entre los 9 y los 10 c€/m³.

## 8.2.2 Costes de Operación o Explotación

### 8.2.2.1 Coste de Consumo de Reactivos

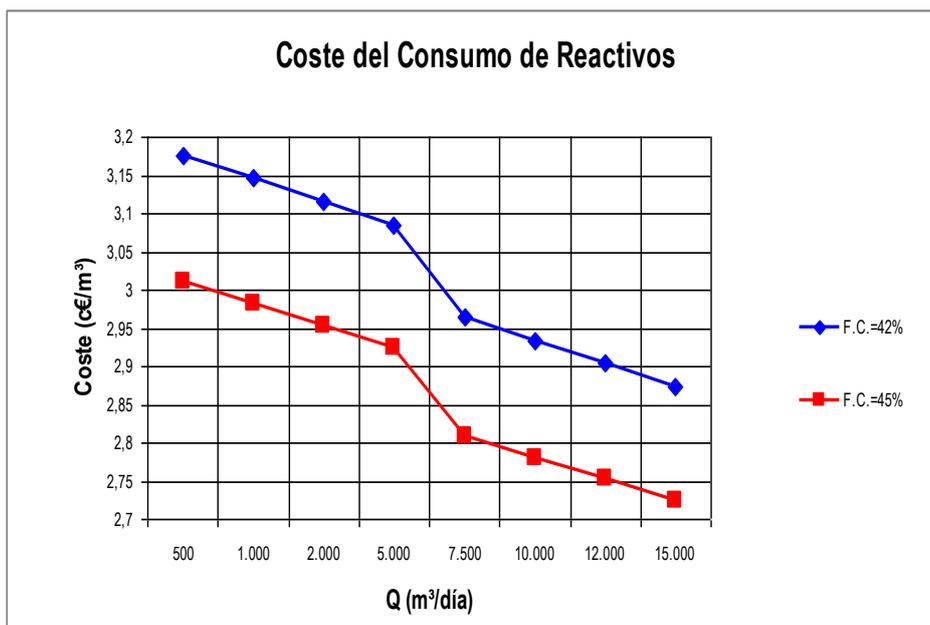
Recogiendo los datos calculados con anterioridad le aplicamos los distintos porcentajes que resultan de la mayor o menor cantidad de reactivos que necesitamos. Presentamos por tanto, la nueva tabla de coste y su gráfica correspondiente en la cual se reflejan los resultados obtenidos. Para realizar una gestión de compras eficiente, se ha tenido en cuenta la repercusión que puede tener en el coste de reactivos como consecuencia de las oscilaciones del precio del mercado en función de las cantidades requeridas, asumiendo en este caso una variación de  $\pm 5\%$ , valores contrastados a nivel de consulta con los fabricantes de los mismos.

Dicha tabla y su gráfica correspondiente muestran determinados factores que responden a una economía de escala, basada en función de las cantidades a comprar.

COSTE DEL CONSUMO DE REACTIVOS		
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	3,17625
500	45	3,01035
1.000	42	3,14600
1.000	45	2,98168
2.000	42	3,11575
2.000	45	2,95301
5.000	42	3,08550
5.000	45	2,92434
7.500	42	2,96450
7.500	45	2,80966
10.000	42	2,93425
10.000	45	2,78099
12.000	42	2,90400
12.000	45	2,75232
15.000	42	2,87375
15.000	45	2,72365

Tabla 200. Resultados del coste del consumo de reactivos

Podemos observar que la variación en el coste es significativa a medida que aumenta el consumo, es decir, la producción.



Gráfica 103. Resultados del coste del consumo de reactivos

En la gráfica anterior se presentan dos curvas que corresponden al coste de reactivos en función del factor de conversión. La curva azul corresponde a un factor de conversión del 42% y la curva roja corresponde a un factor de conversión del 45%.

De dicha tabla y grafica correspondiente al consumo de reactivos podemos comentar que el coste presenta un valor de **3,17625 c€/m<sup>3</sup>** para el caso más desfavorable y un factor de conversión del 42% y un valor de **0,72365 c€/m<sup>3</sup>** para un factor de conversión del 45% y el caso más favorable.

### 8.2.2.2 Coste de Reposición de Filtros de Cartucho

Una vez que se realizó anteriormente un primer análisis y se calculó el coste inicial de la reposición de filtros de cartuchos a través de sus tablas correspondientes, era lógico pensar que en función de la cantidad de cartuchos que se consumiese, su coste unitario podría variar, tanto en aumento como en disminución. Esto nos quiere decir, que para realizar una gestión de compras eficiente, y consultando en todo momento con el fabricante se ha aplicado una variación de  $\pm 5\%$  del precio medio unitario. Los datos correspondientes a los distintos porcentajes son obtenidos del mercado actual.

A continuación mostramos una tabla donde se observa los valores obtenidos como consecuencia de las oscilaciones del mercado en función de las cantidades requeridas y una gráfica en la cual se reflejan los resultados obtenidos.

En función de la tabla y la grafica que adjuntamos a continuación, podemos apreciar como los valores en c€/m<sup>3</sup> varían en función de la producción, y por tanto en función de la economía de escala comentada.

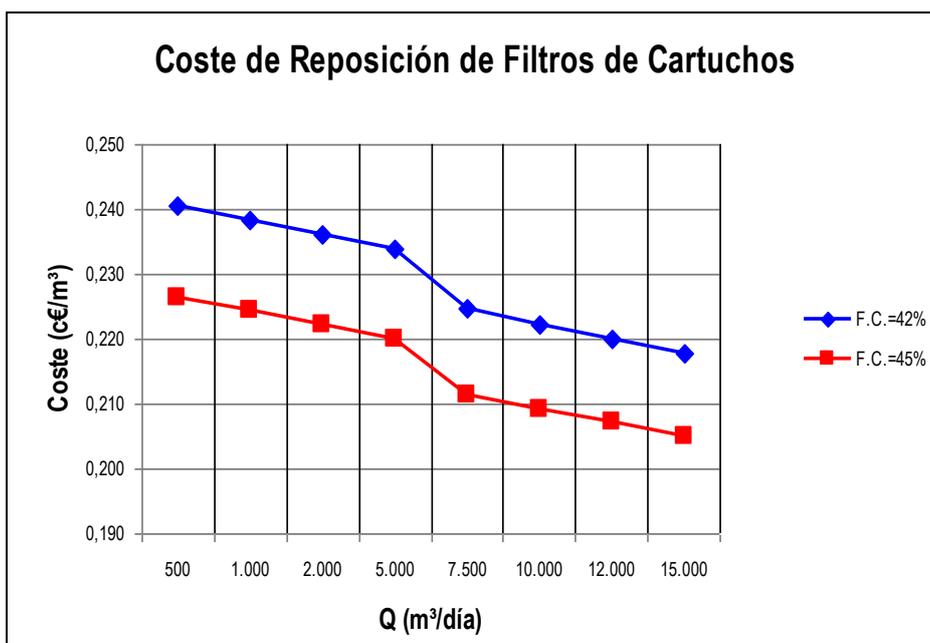
Una vez realizado todos los cálculos, podemos afirmar inicialmente que el coste de reposición de filtros de cartuchos puede variar entre **0,241 y 0,205 c€/m<sup>3</sup>**.

En la gráfica se presentan dos curvas que corresponden al coste de reposición de filtros de cartucho en función del factor de conversión. La curva azul corresponde a un factor de conversión del 42% y la curva roja corresponde a un factor de conversión del 45%.

COSTE DE REPOSICION DE FILTROS DE CARTUCHOS		
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	0,241
500	45	0,227
1.000	42	0,238
1.000	45	0,224
2.000	42	0,236
2.000	45	0,222
5.000	42	0,234
5.000	45	0,220
7.500	42	0,225
7.500	45	0,211
10.000	42	0,222
10.000	45	0,209
12.000	42	0,220
12.000	45	0,207
15.000	42	0,218
15.000	45	0,205

Tabla 201. Resultados del coste de reposición de filtros de cartuchos

A continuación expresamos a través de una gráfica los valores obtenidos en la anterior.



Gráfica 104. Resultados del coste de reposición de filtros de cartuchos

### 8.2.2.3 Coste de Reposición de Membranas

Realizado con anterioridad el estudio básico, analizado el mismo y calculado su coste mostrado en la tabla que se adjunta, es lógico pensar que a mayor cantidad de membranas, el precio de la unidad es menor y viceversa. Investigado por tanto este asunto en el mercado actual, los fabricantes de membranas nos indican que existe una oscilación en función de las cantidades requeridas, y que dicha oscilación puede variar para este caso en un  $\pm 12\%$ , valores que se han reflejado y que pasamos a continuación a mostrar. Los datos correspondientes a los distintos porcentajes son obtenidos del mercado actual.

A continuación, adjuntaremos una tabla donde podremos observar los distintos porcentajes que podemos aplicar al comprar más o menos membranas y una gráfica en la cual se reflejarán los resultados finales.

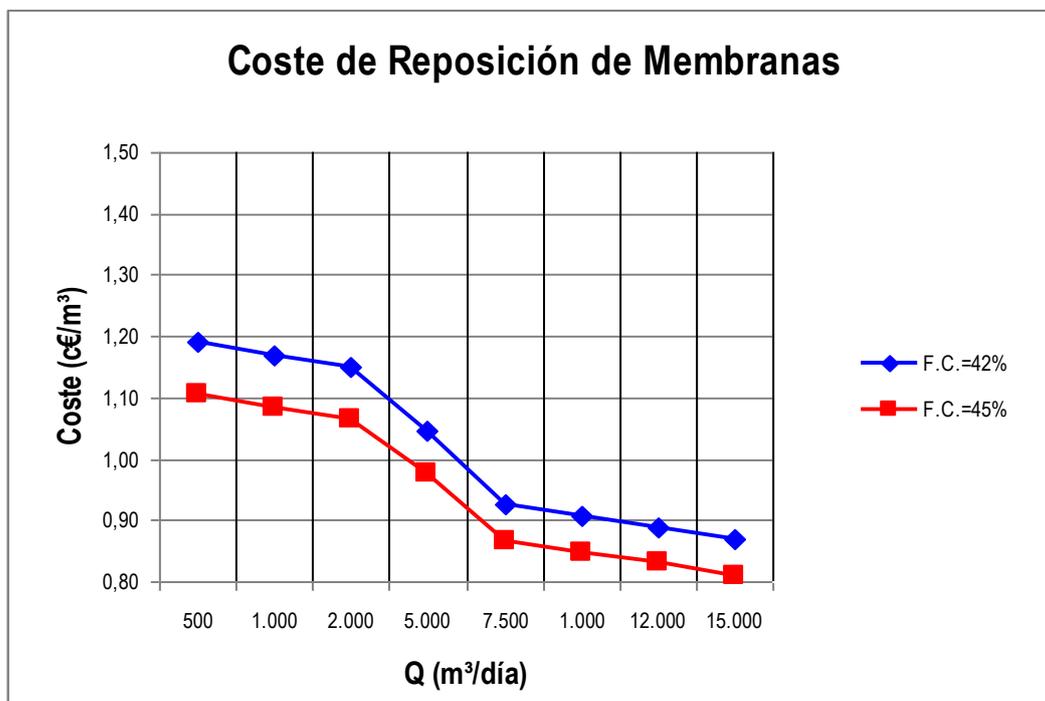
COSTE DE REPOSICION DE MEMBRANAS		
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	1,19
	45	1,10
1.000	42	1,17
	45	1,08
2.000	42	1,15
	45	1,07
5.000	42	1,05
	45	0,98
7.500	42	0,93
	45	0,87
10.000	42	0,91
	45	0,85
12.000	42	0,89
	45	0,83
15.000	42	0,87
	45	0,81

Tabla 202. Resultados del coste de reposición de membranas

En base a la tabla que se ha adjuntado, podemos apreciar como los valores en c€/m<sup>3</sup> varían en función de la producción, y por tanto en función de la economía de escala comentada.

Una vez realizado todos los cálculos, podemos afirmar inicialmente que el coste de reposición de membranas puede variar entre **1,19 y 0,81 c€/m<sup>3</sup>**.

A continuación expresamos a través de una gráfica los valores obtenidos en la tabla anterior.



Gráfica 105. Resultados del coste de reposición de membranas

En la gráfica anterior se presentan dos curvas que corresponden al coste de reposición de membranas en función del factor de conversión. La curva azul corresponde a un factor de conversión del 42% y la curva roja corresponde a un factor de conversión del 45%.

#### 8.2.2.4 Coste de Personal

El coste de personal total será la suma del salario anual de cada uno de los trabajadores mas el coste del vestuario anual mas el coste de nocturnidad anual. La suma de todos ellos se presenta a continuación en las siguientes tablas expresado en c€/m<sup>3</sup>. Es importante hacer notar que la suma total será dividida por la producción total anual en cada caso.

#### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 500 m³/día

En el caso de 500 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 178.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 141.654,89 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 79,58 c€/m<sup>3</sup>.

500 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3ª	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3ª	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3ª	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL c€/m<sup>3</sup></b>				<b>79,58</b>

Tabla 203. Resultados del coste de personal. (500 m<sup>3</sup>/día)

#### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 1.000 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 1.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 356.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 141.654,89 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 39,79 c€/m<sup>3</sup>.

1.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3ª	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3ª	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3ª	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>39,79</b>

Tabla 204. Resultados del coste de personal. (1.000 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 2.000 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 2.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 712.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 141.654,89 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 19,90 c€/m<sup>3</sup>.

2.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3ª	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3ª	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3ª	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>19,90</b>

Tabla 205. Resultados del coste de personal. (2.000 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Osmosis Inversa de 5.000 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 5.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 1.780.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 147.205,75 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 8,27 c€/m<sup>3</sup>.

5.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de Mant	24.344,32		100,00	24.444,32
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3ª	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3ª	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3ª	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>8,27</b>

Tabla 206. Resultados del coste de personal. (5.000 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Ósmosis Inversa de 7.500 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 7.500 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 2.670.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 166.747,19 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 6,25 c€/m<sup>3</sup>.

7.500 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de Mant	24.344,32		100,00	24.444,32
Analista	19.441,44		100,00	19.541,44
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>6,25</b>

Tabla 207. Resultados del coste de personal. (7.500 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Ósmosis Inversa de 10.000 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 10.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 3.560.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 189.391,22 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 5,32 c€/m<sup>3</sup>.

10.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de Planta	29.914,63		100,00	30.014,63
Administrativo	16.973,72		100,00	17.073,72
Analista	19.441,44		100,00	19.541,44
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>5,32</b>

Tabla 208. Resultados del coste de personal. (10.000 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Ósmosis Inversa de 12.000 m<sup>3</sup>/día

En el caso de 12.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 4.272.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 213.835,54 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 5,01 c€/m<sup>3</sup>.

12.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de Planta	29.914,63		100,00	30.014,63
Jefe de Mant	24.344,32		100,00	24.444,32
Administrativo	16.973,72		100,00	17.073,72
Analista	19.441,44		100,00	19.541,44
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1 <sup>a</sup>	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3 <sup>a</sup>	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>5,01</b>

Tabla 209. Resultados del coste de personal. (12.000 m<sup>3</sup>/día)

### Plantas Desalinizadoras de Ósmosis Inversa de 15.000 m<sup>3</sup>/día

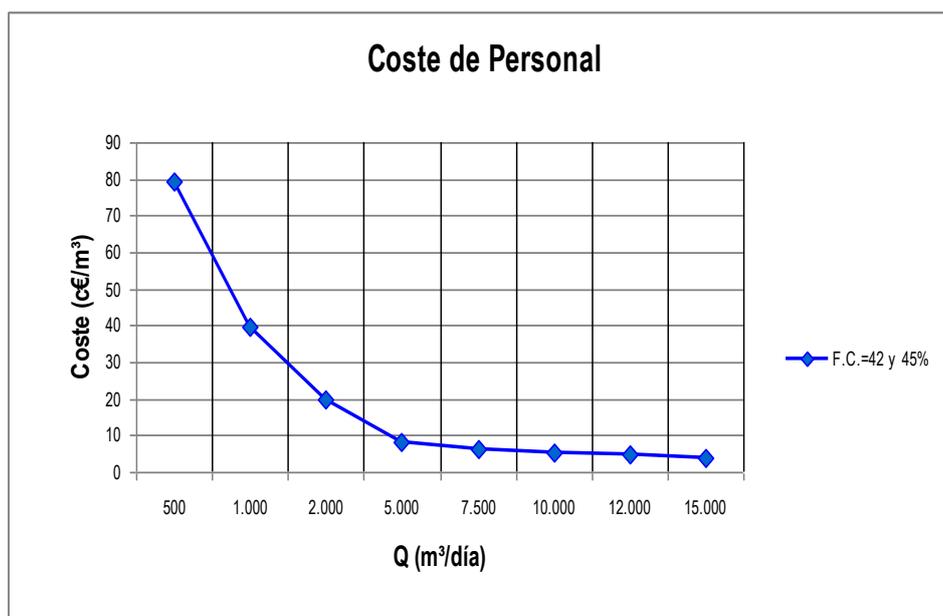
En el caso de 15.000 m<sup>3</sup>/día, la producción anual, considerando 356 días es de 5.340.000 m<sup>3</sup>/año. El coste de personal anual según la tabla que adjuntamos es de 213.835,54 €/año. La división entre los dos es lo que nos da un coste de personal de 4,00 c€/m<sup>3</sup>.

15.000 m <sup>3</sup> /día				
Concepto	Salario (€/año)	Nocturnidad (€/año)	Vestuario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de Planta	29.914,63		100,00	30.014,63
Jefe de Mant	24.344,32		100,00	24.444,32
Administrativo	16.973,72		100,00	17.073,72
Analista	19.441,44		100,00	19.541,44
Oficial 1ª	18.793,46		100,00	18.893,46
Oficial 1ª	18.793,46	782,48	100,00	19.675,94
Oficial 3ª	18.020,11	4.505,03	100,00	22.625,14
Oficial 3ª	18.020,11	2.078,04	100,00	20.198,15
Oficial 3ª	18.020,11	1.264,90	100,00	19.385,01
Peón	17.506,98	4.376,75	100,00	21.983,73
<b>TOTAL (c€/m<sup>3</sup>)</b>				<b>4,00</b>

 Tabla 210. Resultados del coste de personal. (15.000 m<sup>3</sup>/día)

Una vez realizado todos los cálculos, podemos afirmar en base a las tablas y a la grafica generada en base a los cálculos que el coste de personal puede variar entre los **79,58 c€/m<sup>3</sup>** para una planta de 500 m<sup>3</sup>/día y los **4,00 c€/m<sup>3</sup>** para una planta de 15.000 m<sup>3</sup>/día.

A continuación expresamos a través de una gráfica los valores obtenidos en las tablas anteriores.



Gráfica 106. Resultados del coste de personal

### 8.2.2.5 Coste de Mantenimiento

Una vez que se explicó con anterioridad las bases para calcular el coste de mantenimiento y se mostraron los porcentajes a aplicar a cada una de las partidas de inversión en función de la vida útil de cada ítem, pasamos ahora a obtener el valor del coste de mantenimiento para una determinada combinación, en función de cada una de las etapas. En el tomo II correspondiente a datos, gráficas y cuadro de precios se encuentra la totalidad de las combinaciones investigadas en la T.D. Todos los precios vienen expresados en €.

#### 1.1 Caudal de 500 m<sup>3</sup>/día y factor de conversión del 42%

<b>ETAPA 1. TOMA Y BOMBEO DE AGUA DE MAR</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Bomba sumergible pozo	4,2	3.259,00	136,88
Tubería	3	21.078,00	632,34
Depósito de alimentación	0,8	2.822,40	22,58
Grupo de presión	4,2	2.000,00	84,00
<b>TOTAL (ETAPA 1)</b>			769,22

<b>ETAPA 2. PRE-TRATAMIENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>			
<b>PRE-TRATAMIENTOS FÍSICOS</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Filtros de arena	3	18.140,00	544,20
Filtros de cartucho	3	8.524,00	255,72
<b>TOTAL</b>			799,92
<b>PRE-TRATAMIENTOS QUÍMICOS</b>			
<b>EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Depósito	4,2	9.324,00	391,61
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			391,61
<b>DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Depósito	4,2	2.240,00	94,08
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			94,08

<b>DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
Depósito	4,2	3.760,00	157,92
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			157,92
<b>ADICCIÓN DE DISPERSANTE O ANTIINCRUSTANTE</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
Depósito	4,2	4.200,00	176,40
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			176,40
<b>DOSIFICACIÓN DE BISULFITO SÓDICO</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
Depósito	4,2	4.394,00	184,55
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			184,55
<b>TOTAL (ETAPA 2)</b>			1.804,48

<b>ETAPA 3. GRUPO MOTOBOMBA DE ALTA PRESIÓN</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
Grupo de AP	4,2	10.658,00	447,64
Booster	4,2	2.000,00	84,00
<b>TOTAL (ETAPA 3)</b>			531,64

<b>ETAPA 4. BASTIDORES DE MEMBRANA SEMIPERMEABLE</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
Membranas	3	28.800,00	864,00
<b>TOTAL (ETAPA 4)</b>			864,00

<b>ETAPA 5. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA</b>			
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)	PRECIO FINAL	PRECIO MANT
ERI	4,3	35.700,00	1.535,10
<b>TOTAL (ETAPA 5)</b>			1.535,10

<b>ETAPA 6. POST-TRATAMIENTO</b>			
<b>REMINERALIZACIÓN. AJUSTE PH</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Equipo de PRFV	4,2	3.200,00	134,40
<b>TOTAL</b>			134,40
<b>POST-CLORACIÓN - DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Depósito	4,2	1.800,00	75,60
Bomba dosificadora			
Agitador			
<b>TOTAL</b>			75,60
<b>TOTAL (ETAPA 6)</b>			210,00
<b>ETAPA 7. COMPONENTES VARIOS</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Medidores de pH	4,5	250,00	11,25
Medidores de temperatura	4,5	160,00	7,20
Manómetros	4,5	238,00	10,71
Caudalímetros	4,5	800,00	36,00
Depósito	0,8	2.822,40	22,58
Presostatos	4,5	750,00	33,75
Depósitos de eq. Osm.	4,5	3.000,00	135,00
<b>TOTAL (ETAPA 7)</b>			256,49

<b>ETAPA 8. INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
CGP e instalación interior	4,3	10.000,00	430,00
Red de MT	4,3	0,00	0,00
Centro de transformación	4,3	0,00	0,00
Red de BT	4,3	3.000,00	129,00
<b>TOTAL (ETAPA 8)</b>			559,00

<b>ETAPA 9. BOMBEO A LOS CONSUMIDORES</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
Bomba	4,2	2.000,00	84,00
Tubería	3	46.395,00	1.391,85
<b>TOTAL (ETAPA 9)</b>			1.475,85

<b>ETAPA 10. TERRENOS Y OBRA CIVIL</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PRECIO FINAL</b>	<b>PRECIO MANT</b>
IBI (Urbano)	3	15.000,00	450
Obra Civil	0,3	31.360,00	94,08
<b>TOTAL (ETAPA 10)</b>			<b>544,08</b>

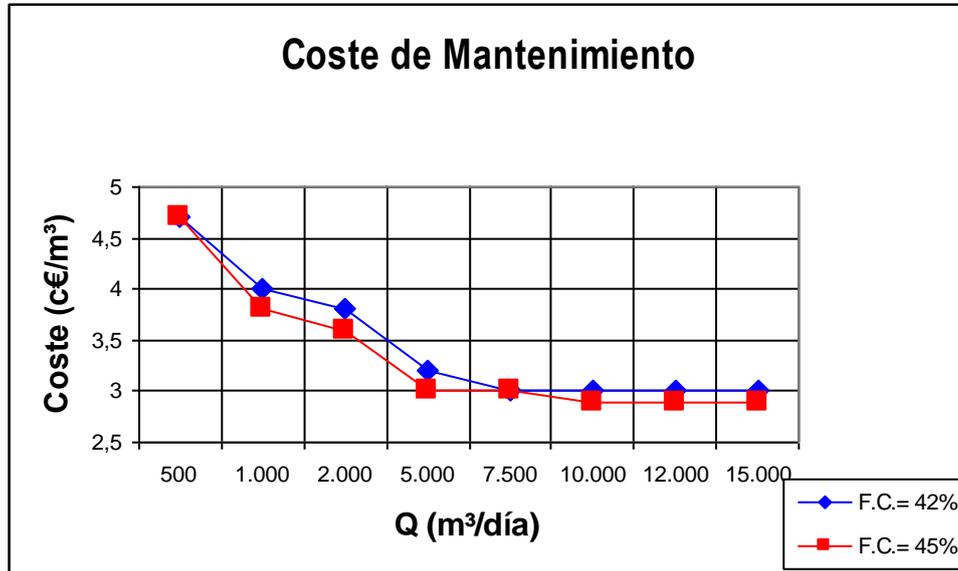
<b>TOTAL ETAPAS DE MANTENIMIENTO (500 m<sup>3</sup>/día-42%)</b>			
<b>TOTAL ETAPAS</b>			<b>8.549,85 €</b>

Como se ha podido observar, los valores correspondientes al coste de inversión son los que hemos utilizado en esta apartado del coste de mantenimiento, para que aplicándoles el porcentaje adecuado podamos obtener el coste que estamos calculando en estos momentos. En la tabla que presentamos a continuación mostramos, en función del caudal y el factor de conversión el coste de mantenimiento y con este dato, multiplicando por 100, dividiéndolo entre la producción y los 365 días del año, obtenemos la columna que corresponde a la repercusión en el m<sup>3</sup> de agua desalinizada en el coste total.

<b>Q (m<sup>3</sup>/día)-F.C.(%)</b>	<b>Coste de Mantenimiento</b>	<b>Coste en €/m<sup>3</sup></b>
500-42	8.549,85	4,7
500-45	8.467,02	4,7
1.000-42	14.551,15	4,0
1.000-45	13.861,31	3,8
2.000-42	28.005,97	3,8
2.000-45	26.041,89	3,6
5.000-42	58.562,80	3,2
5.000-45	55.501,91	3,0
7.500-42	83.062,97	3,0
7.500-45	80.529,86	3,0
10.000-42	110.051,19	3,0
10.000-45	106.365,37	2,9
12.000-42	136.732,92	3,0
12.000-45	133.253,00	2,9
15.000-42	162.957,12	3,0
15.000-45	159.566,73	2,9

Tabla 211. Resultados del coste de mantenimiento

En función de los datos de la tabla anterior, presentamos la gráfica del coste de mantenimiento para cada una de las combinaciones investigadas.



Gráfica 107. Resultados del coste de mantenimiento

Tanto en la tabla como en la grafica del coste de mantenimiento se puede apreciar que los valores son muy constantes desde un principio y que la variación entre la totalidad de valores apenas alcanza un valor de **1,8 c€/m³**.

#### 8.2.2.6 Coste Medioambiental

Para el cálculo del coste medioambiental presentaremos 4 tablas que nos indican el coste de la tubería de impulsión, de la tubería de expulsión, de la bomba de impulsión de agua de mar y una última con el coste total donde se ha añadido el decantador y el aparato para medir el pH. Por tanto nos centramos en los precios facilitados por el mercado en las Islas Canarias.

Es importante comentar que se ha adoptado el valor de 110 metros como el valor necesario para la longitud de la tubería de impulsión, debido a que para la extracción del agua de mar al no hacer falta que sea de pozo playero es menor.

COSTE DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN						
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Ø NORM. (mm)	Coste Tub. (€)	Long. Tub. (m)	Coste (€)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	100	92,79	110	10.206,90	5,5928
	45	100	92,79	110	10.206,90	5,5928
1.000	42	100	92,79	110	10.206,90	2,7964
	45	100	92,79	110	10.206,90	2,7964
2.000	42	160	105,39	110	11.592,90	1,5881
	45	160	105,39	110	11.592,90	1,5881
5.000	42	300	147,68	110	16.244,80	0,8901
	45	300	147,68	110	16.244,80	0,8901
7.500	42	300	147,68	110	16.244,80	0,5934
	45	300	147,68	110	16.244,80	0,5934
10.000	42	300	147,68	110	16.244,80	0,4451
	45	300	147,68	110	16.244,80	0,4451
12.000	42	400	158,12	110	17.393,20	0,3971
	45	400	158,12	110	17.393,20	0,3971
15.000	42	400	158,12	110	17.393,20	0,3177
	45	400	158,12	110	17.393,20	0,3177

Tabla 212. Resultados del coste de tubería de impulsión medioambiental

Para la longitud de la tubería de expulsión adoptamos un valor de 105 metros por entender que el agua que se expulsa al mar no tiene las mismas condiciones que ésta, aunque como se ha investigado con anterioridad, con este estudio, el agua de rechazo que se envía al mar tiene menor impacto medioambiental.

Estos valores de 110 y 105 metros son los que se han adoptado desde un inicio en la T.D., queriendo hacer notar que pueden ser variables en cada una de las plantas desalinizadoras de ósmosis inversa. Nosotros para la uniformidad de la investigación lo hemos mantenido fijo.

COSTE DE LA TUBERÍA DE EXPULSIÓN						
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Ø NORM. (mm)	Coste Tub. (€)	Long. Tub. (m)	Coste (€)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	160	105,39	105	11.065,95	6,0635
	45	160	105,39	105	11.065,95	6,0635
1.000	42	200	115,62	105	12.140,10	3,3261
	45	200	115,62	105	12.140,10	3,3261
2.000	42	300	147,68	105	15.506,40	2,1242
	45	300	147,68	105	15.506,40	2,1242
5.000	42	600	169,23	105	17.769,15	0,9737
	45	600	169,23	105	17.769,15	0,9737
7.500	42	600	169,23	105	17.769,15	0,6491
	45	600	169,23	105	17.769,15	0,6491
10.000	42	600	169,23	105	17.769,15	0,4868
	45	600	169,23	105	17.769,15	0,4868
12.000	42	800	210,35	105	22.086,75	0,5043
	45	800	210,35	105	22.086,75	0,5043
15.000	42	800	210,35	105	22.086,75	0,4034
	45	800	210,35	105	22.086,75	0,4034

Tabla 213. Resultados del coste de tubería de expulsión medioambiental

Presentamos a continuación la tabla correspondiente al coste de la bomba sumergible de impulsión del agua de mar para la mezcla con el agua de rechazo. Para ello en función de la producción y el factor de conversión hemos obtenido la potencia necesaria. Se ha llevado dichos valores de potencias a los valores de mercado, motivo por el cual aparece en la siguiente tabla una columna con el valor comercial. A partir de ahí, se ha calculado el coste de la bomba y el coste por m<sup>3</sup> de agua desalinizada.

COSTE DE LA BOMBA DE IMPULSION (MEDIOAMBIENTAL)					
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	P. (kW)	P. Com. (kW)	Coste (€)	Coste (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	5,06	6	2.513,00	1,38
	45	4,73			
1.000	42	10,13	11	3.259,00	0,89
	45	9,45			
2.000	42	20,25	22	6.857,00	0,94
	45	18,90			
5.000	42	50,64	60	10.624,00	0,58
	45	47,26			
7.500	42	75,95	80	12.458,00	0,46
	45	70,89			
10.000	42	101,27	110	16.320,00	0,45
	45	94,52			
12.000	42	121,53	130	17.956,00	0,41
	45	113,43			
15.000	42	151,91	185	20.523,00	0,37
	45	141,78			

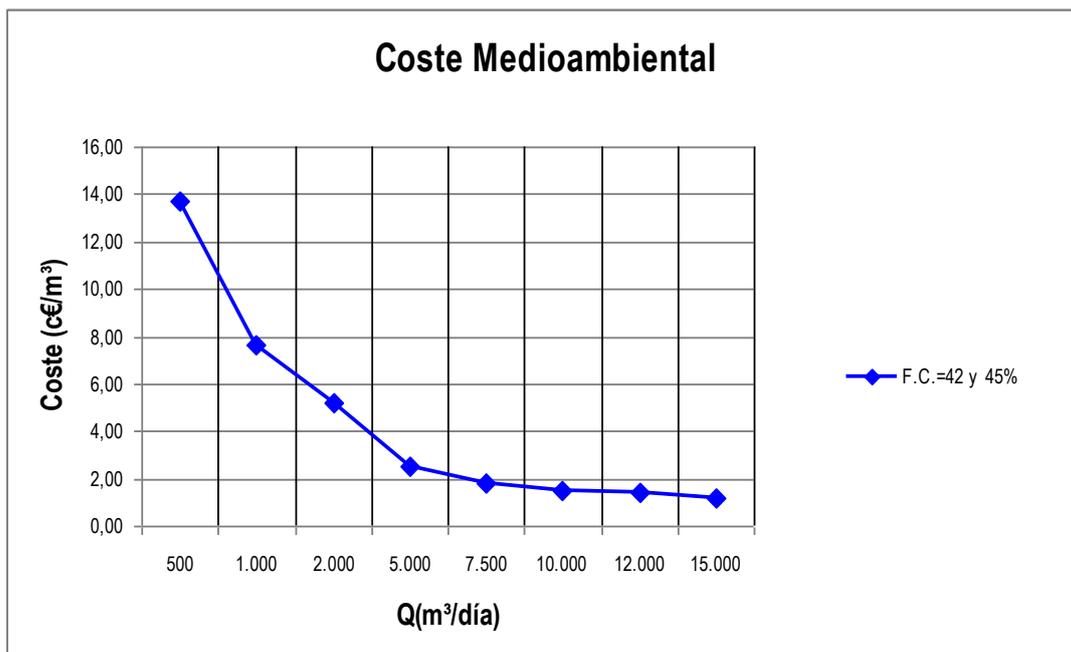
Tabla 214. Resultados del coste de la bomba sumergible medioambiental

COSTE MEDIOAMBIENTAL (c€/m <sup>3</sup> )							
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Coste tub. exp. (€)	Coste tub. imp. (€)	Coste bomba (€)	Coste Peachimetro (€)	Coste Decantador (€)	Total (c€/m <sup>3</sup> )
500	42	11.065,95	10.206,90	2.513,00	260	1200	13,73
	45	11.065,95	10.206,90	2.513,00	260	1200	13,73
1.000	42	12.140,10	10.206,90	3.259,00	260	1400	7,68
	45	12.140,10	10.206,90	3.259,00	260	1400	7,68
2.000	42	15.506,40	11.592,90	6.857,00	260	1600	5,24
	45	15.506,40	11.592,90	6.857,00	260	1600	5,24
5.000	42	17.769,15	16.244,80	10.624,00	260	2000	2,56
	45	17.769,15	16.244,80	10.624,00	260	2000	2,56
7.500	42	17.769,15	16.244,80	12.458,00	260	2700	1,80
	45	17.769,15	16.244,80	12.458,00	260	2700	1,80
10.000	42	17.769,15	16.244,80	16.320,00	260	3000	1,46
	45	17.769,15	16.244,80	16.320,00	260	3000	1,46
12.000	42	22.086,75	17.393,20	17.956,00	260	3200	1,45
	45	22.086,75	17.393,20	17.956,00	260	3200	1,45
15.000	42	22.086,75	17.393,20	20.523,00	260	3500	1,21
	45	22.086,75	17.393,20	20.532,00	260	3500	1,21

Tabla 215. Resultados del coste medioambiental

Una vez realizado todos los cálculos, podemos afirmar inicialmente que el coste medioambiental puede variar entre los **13,73 c€/m<sup>3</sup> para una planta de 500 m<sup>3</sup>/día y los 1,21 c€/m<sup>3</sup> para una planta de 15.000 m<sup>3</sup>/día.**

A continuación expresamos a través de una gráfica los valores obtenidos en las tablas anteriores.



Gráfica 108. Resultados del coste medioambiental

Se observa claramente, que el coste medioambiental presenta valores elevados inicialmente y que dichos valores comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 7.500 m<sup>3</sup>/día.

### 8.2.2.7 Coste del Consumo Energético

Vamos a finalizar el capítulo de análisis de resultados con el coste del consumo energético. Lo primero que hacemos es recoger los datos de la potencia y el consumo total reflejado en las tablas correspondientes al análisis del coste del consumo energético. En base a esto se podrá calcular lo que denominamos el término de potencia y el término de energía. Estos datos de las tablas anteriores los reflejamos en la tabla siguiente:

Q(m <sup>3</sup> /día)-F.C.	Potencia Total (kW)	Consumo Total (kWh/m <sup>3</sup> )
500-42	83	3,82
500-45	88,2	3,87
1.000-42	162	3,60
1.000-45	164,5	3,68
2.000-42	315	3,51
2.000-45	326,5	3,61
5.000-42	751,5	3,48
5.000-45	764,5	3,55
7.500-42	1.107	3,48
7.500-45	1.129,5	3,55
10.000-42	1.473,5	3,46
10.000-45	1.501,5	3,53
12.000-42	1.762,5	3,46
12.000-45	1.790	3,52
15.000-42	2.205	3,46
15.000-45	2.240	3,52

Tabla 216. Potencia y consumo energético total

Aportamos en la siguiente tabla los precios de las tarifas de los periodos punta (P1), llano (P2) y valle (P3), correspondientes a los términos de potencia y energía.

	Periodo Tarifario 1	Periodo Tarifario 2	Periodo Tarifario 3
<b>T<sub>p</sub> €/kWh año</b>	24,493015	15,104184	3,463562
<b>T<sub>e</sub> en DH3 €/kWh</b>	0,134025	0,116987	0,081679

Tabla 217. Coste de los términos de potencia y de energía en AT. [56]

Una vez esto, vamos a explicar el procedimiento para el cálculo del coste de la energía, en función de los términos comentados anteriormente.

Para facilitar el coste energético, realizaremos el cálculo para el caso de 1 kWh/m<sup>3</sup> y al final colocaremos la tabla de resultados para las diferentes posibilidades.

a) Término de potencia.

Para hallar el coste anual del término de potencia, lo realizamos en base a multiplicar la potencia por los factores de potencia anual, siendo P 1 kW.

$$\text{Coste } p_{\text{anual}} = ( P \times 24,493015 + P \times 15,104184 + P \times 3,463562 )$$

$$\text{Coste } p_{\text{anual}(1 \text{ kW})} = 43,060761 \text{ €/añokW}$$

La expresión matemática para calcular el coste correspondiente al término de potencia será la siguiente:

$$\text{Coste } p = 43,060761 \times P(\text{kW})/365/Q(\text{producción})$$

b) Término de energía.

Para el término de energía multiplicaremos el consumo (1 kWh) por el coeficiente en cada tramo por las horas y por los 365 días al año.

$$\text{Coste } e_{\text{anual}} = (C_{x0,134025} \times 4 \times 365 + C_{x0,116987} \times 12 \times 365 + C_{x0,081679} \times 8 \times 365)$$

$$\text{Coste } e_{\text{anual}(1 \text{ kWh})} = 946,58218 \text{ €/año}$$

c) Impuesto eléctrico.

A la suma de los costes anteriores se le aplica el impuesto de electricidad en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Coste } IE_{\text{anual}} = (C_e + C_p) \times 1,05113 \times 0,04864$$

$$\text{Coste } IE_{\text{anual}(1 \text{ kWh})} = 50,5974 \text{ €/año}$$

d) Alquiler del equipo de medida.

Este alquiler es una cantidad fija y está tasada en 48,11 €/mes. Luego, vemos lo que cuesta el alquiler al año.

$$\text{Coste } AIQ_{\text{anual}} = 577,32 \text{ €/año}$$

$$\text{Coste } AIQ_{\text{día}} = 1,5817 \text{ €/día}$$

Dicha cantidad del alquiler la dividiremos entre cada caudal de producción y obtendremos el coste del alquiler para cada caso.

e) IGIC del 3%.

El IGIC reducido del 3% se le aplica a las cantidades del término de potencia, del término de energía.

f) IGIC del 7%.

Este tipo de IGIC normal se le aplica solamente al alquiler del equipo de medida. Si vemos la tabla, observamos que el 7% de las cantidades a las cuales se le aplica, se observa que nos responden números insignificantes para nuestra T.D., por lo cual dichos valores los obviamos.

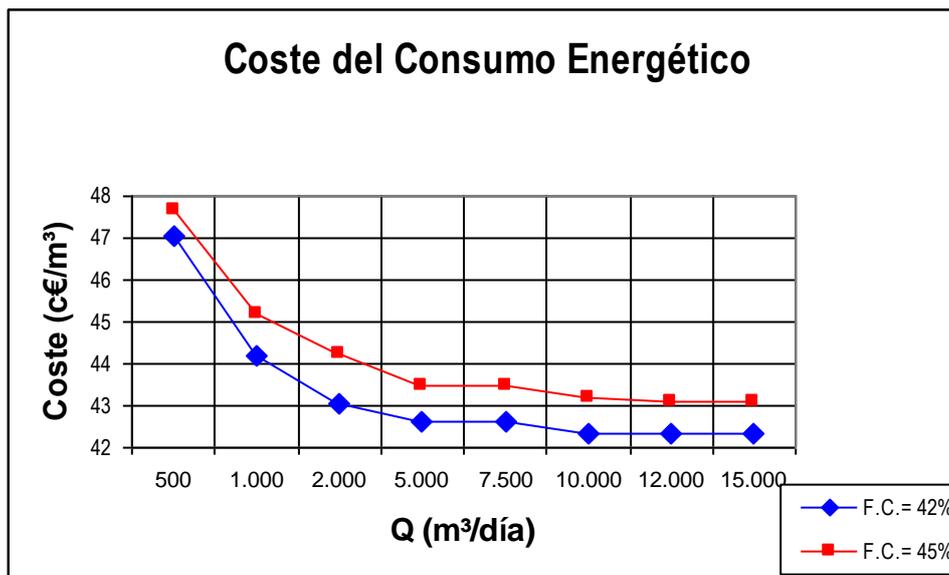
Sumando las cantidades correspondientes al término de energía y el impuesto eléctrico, obtenemos el coste anual para 1 kWh, que pasa a ser de 997,17958 €/año. Si realizamos el cociente entre esta cifra y el número de horas al año, 8.760, tendremos el coste para estas condiciones, pendientes de los IGIC:

$$C_{e+i} = 997,17958/8760 = 0,11383 \text{ €/kWh} = 11,383 \text{ c€/kWh}$$

Multiplicando la cantidad anterior por el consumo de cada caso y sumando el coste del término de potencia obtenemos el coste de potencia, energía e impuesto. Presentamos a continuación la tabla con la totalidad de las partidas de costes correspondiente al consumo energético en c€/m<sup>3</sup> y la gráfica del coste.

Q(m <sup>3</sup> /día)-Fc	Coste (Pot+Ener+Imp)	Coste Alquiler	Coste IGIC 3%	Coste total
500-42	45,83	0,31	0,91	47,05
500-45	46,43	0,31	0,93	47,67
1.000-42	43,19	0,16	0,86	44,21
1.000-45	44,15	0,16	0,88	45,19
2.000-42	42,11	0,08	0,84	43,03
2.000-45	43,31	0,08	0,86	44,25
5.000-42	41,75	0,03	0,83	42,61
5.000-45	42,59	0,03	0,85	43,47
7.500-42	41,75	0,02	0,83	42,60
7.500-45	42,59	0,02	0,85	43,46
10.000-42	41,51	0,01	0,83	42,35
10.000-45	42,35	0,01	0,84	43,20
12.000-42	41,51	0,01	0,83	42,35
12.000-45	42,23	0,01	0,84	43,08
15.000-42	41,51	0,01	0,83	42,35
15.000-45	42,23	0,01	0,84	43,08

Tabla 218. Resultados del coste del consumo energético



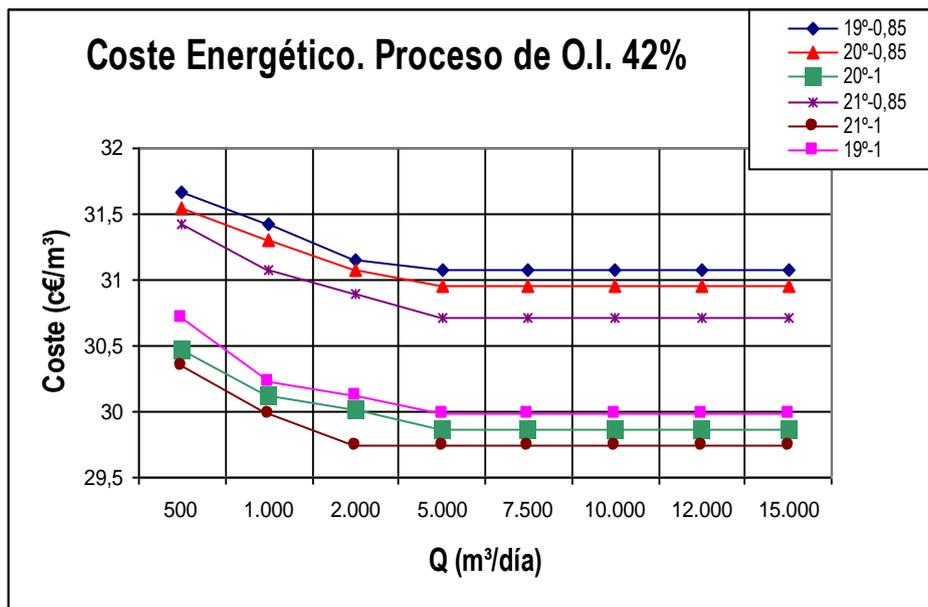
Gráfica 109. Resultados del coste del consumo energético

En base a la tabla y la grafica anterior se puede comentar que evidentemente, en este caso el coste es mayor para una conversión del 45%, debido a que la potencia de la maquinaria es mayor y por tanto el consumo también lo es. Así mismo se observa que las curvas realizan un recorrido casi paralelo entre ellas.

Presentamos a continuación sólo para el proceso de la ósmosis inversa 2 tablas y 2 gráficos, en las que ponemos de manifiesto los costes en c€/m<sup>3</sup> del proceso con las posibilidades estudiadas en la T.D. La primera tabla y gráfica corresponden a un factor de conversión del 42%, mientras que la segunda gráfica y tabla corresponden a un valor de conversión del 45%.

Q (m³/día)	Tª-F.F. 19-0,85	Tª-F.F. 19-1,0	Tª-F.F. 20-0,85	Tª-F.F. 20-1,0	Tª-F.F. 21-0,85	Tª-F.F. 21-1,0
500	31,67	30,71	31,55	30,47	31,43	30,35
1.000	31,43	30,23	31,31	30,12	31,07	29,99
2.000	31,15	30,12	31,08	30,02	30,90	29,75
5.000	31,07	29,99	30,95	29,87	30,71	29,75
7.500	31,07	29,99	30,95	29,87	30,71	29,75
10.000	31,07	29,99	30,95	29,87	30,71	29,75
12.000	31,07	29,99	30,95	29,87	30,71	29,75
15.000	31,07	29,99	30,95	29,87	30,71	29,75

Tabla 219. Resultados del coste del consumo energético para una conversión del 42%

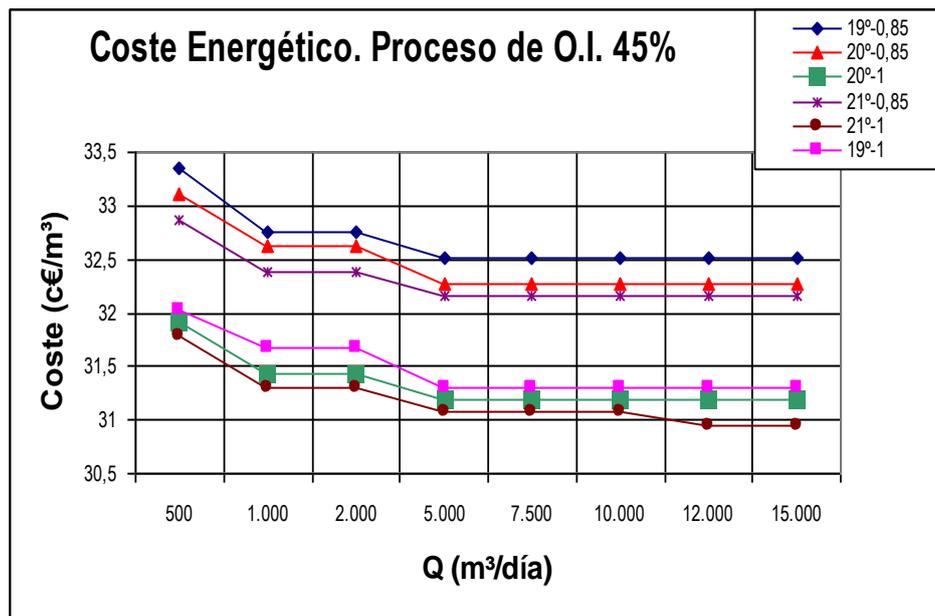


Gráfica 110. Resultados del coste del consumo energético para una conversión del 42%

De la grafica anterior podemos concluir, que manteniendo el factor de conversión y el fouling factor constante, a medida que aumenta la temperatura el coste energético del proceso de ósmosis disminuye. También podemos comentar que cuando la membrana es nueva, es decir el valor del fouling factor es 1 el coste energético del proceso es menor.

Q (m³/día)	Tª-F.F. 19-0,85	Tª-F.F. 19-1,0	Tª-F.F. 20-0,85	Tª-F.F. 20-1,0	Tª-F.F. 21-0,85	Tª-F.F. 21-1,0
500	33,35	32,03	33,11	31,91	32,87	31,79
1.000	32,75	31,67	32,63	31,43	32,39	31,31
2.000	32,75	31,67	32,63	31,43	32,39	31,31
5.000	32,51	31,31	32,27	31,19	32,15	31,07
7.500	32,51	31,31	32,27	31,19	32,15	31,07
10.000	32,51	31,31	32,27	31,19	32,15	31,07
12.000	32,51	31,31	32,27	31,19	32,15	30,95
15.000	32,51	31,31	32,27	31,19	32,15	30,95

Tabla 220. Resultados del coste del consumo energético para una conversión del 45%



Gráfica 111. Resultados del Coste del consumo energético para una conversión del 45%

Al igual que en la grafica anterior, se observa que manteniendo el factor de conversión y el fouling factor constante, a medida que aumenta la temperatura el coste energético del proceso de ósmosis disminuye. Si bien comparando las dos graficas podemos concluir que para el factor de conversión del 45%, el coste energético referente al proceso de la ósmosis inversa es mayor.

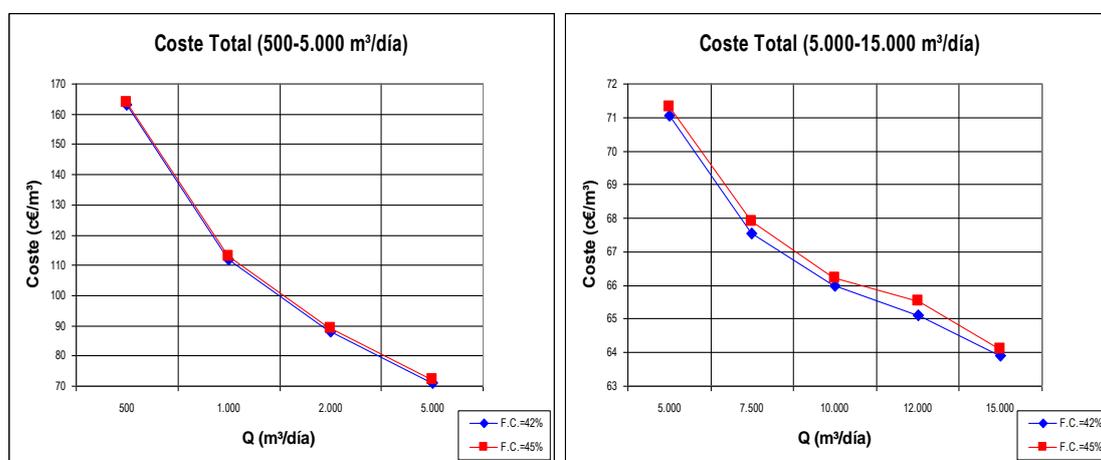
### 8.2.3 Costes totales

Una vez que hemos calculado cada uno de los costes que afecta a la producción de agua desalinizada mediante O.I., hemos considerado necesario elaborar una tabla con la totalidad de los datos que se han calculado y poder obtener el coste total del m<sup>3</sup> de agua de mar desalinizada. Adjuntamos la tabla comentada anteriormente. La totalidad de los valores presentados responden a c€/m<sup>3</sup>.

Q-Fc	Amort.	Reactivos	F. Cartucho	Membranas	Personal	Mant	Medioambiental	Energético	Total c€/m <sup>3</sup>
500-42	14,78	3,17	0,24	1,19	79,58	4,7	13,73	47,05	164,72
500-45	14,60	3,01	0,22	1,10	79,58	4,7	13,73	47,67	164,61
1.000-42	12,54	3,14	0,23	1,17	39,79	4,0	7,68	44,21	112,86
1.000-45	12,08	2,98	0,22	1,08	39,79	3,8	7,68	45,19	112,82
2.000-42	12,33	3,11	0,23	1,15	19,90	3,8	5,24	43,03	88,79
2.000-45	11,67	2,95	0,22	1,07	19,90	3,6	5,24	44,25	88,90
5.000-42	10,31	3,08	0,23	1,05	8,27	3,2	2,56	42,61	71,31
5.000-45	9,9	2,92	0,22	0,98	8,27	3,0	2,56	43,47	71,32
7.500-42	9,8	2,96	0,22	0,93	6,25	3,0	1,80	42,60	67,56
7.500-45	9,5	2,80	0,21	0,87	6,25	3,0	1,80	43,46	67,89
10.000-42	9,8	2,93	0,22	0,91	5,32	3,0	1,46	42,35	65,99
10.000-45	9,5	2,78	0,21	0,85	5,32	2,9	1,46	43,20	66,22
12.000-42	9,6	2,90	0,22	0,89	5,01	3,0	1,45	42,35	65,42
12.000-45	9,3	2,75	0,20	0,83	5,01	2,9	1,45	43,08	65,52
15.000-42	9,4	2,87	0,21	0,87	4	3,0	1,21	42,35	63,91
15.000-45	9,2	2,72	0,20	0,81	4	2,9	1,21	43,08	64,12

Tabla 221. Resultado del coste total

En función de la tabla anterior, presentamos la gráfica con el coste total para la desalinización de agua de mar mediante la O.I..



Gráfica 112. Resultados del Coste Total

El análisis de los resultados, según nos revela la grafica y la tabla anterior de resultados de la investigación, pone de manifiesto que las plantas desalinizadoras mediante O.I. para un rango que va hasta los 5.000 m<sup>3</sup>/día presentan unos costes extremadamente altos, por lo que salvo para determinados casos que estén justificados como consecuencia de producciones menores por motivos de diseño y espacio, no se encuentra razonable la instalación de las mismas.

A la vista de los resultados de determinados costes, según las graficas 102, 106 y 109 los costes de amortización, personal y consumo de energía son los que más influyen en el coste total, por lo que habría que intentar disminuirlos para optimizar el coste final.

El consumo energético, según la tabla de resultados del coste total, producto de nuestra investigación, es un factor fundamental a la hora de planificar una planta desalinizadora de agua de mar mediante la O.I.

En función del apartado que corresponde a la investigación del modelo matemático que puede satisfacer nuestros costes, se ha llegado a la conclusión que el modelo matemático puede responder a un modelo univariante o a un modelo de mínimos cuadrados ponderados, basados en el coste total como variable dependiente y en función de 8 variables independientes que responden a los 8 tipos de coste diferentes y mas comunes que presenta una planta desalinizadora de agua de mar de O.I. En el caso de los mínimos cuadrados ponderados, la variable ponderadora podrá ser el coste del consumo energético como variable de mayor peso o el coste de reposición de filtros de cartuchos como variable de menor peso.

Resumiendo el apartado de los modelos matemáticos, podemos concluir que sustituyendo los resultados de los costes totales, los valores mas exactos corresponden al modelo matemático basado en el análisis de mínimos cuadrados ponderados, apartado 7.5.3.7.2, eligiendo como variable ponderadora el consumo energético, que como sabemos es la variable con más peso en el coste total.

En base a los estadísticos descriptivos se observa que la mayoría de los factores responden inicialmente a una distribución normal. Realizadas por tanto las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk podemos confirmar la distribución normal.

Para todos los costes podemos observar que no existen valores perdidos, que los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M (Huber, Tukey, Hampel y Andrews) son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad así como los diagramas representados muestran la normalidad de los datos.

También es importante hacer notar que los modelos matemáticos en los cuales hemos tomado como variable dependiente los costes totales, reagrupando en un coste llamado resto de costes los que presentan valores menos significativos, es decir, reactivos, filtros, membranas, mantenimiento y medioambiental tienen su utilidad para los casos en los cuales queramos conocer de manera aproximada, menos exacta pero más rápida el coste total de la planta desalinizadora de O.I.

## **CAPITULO 9**

# **Conclusiones y nuevas líneas de investigación**



## Capítulo 9. Conclusiones y nuevas líneas de investigación

### 9.1 Conclusiones

Finalmente se resume las conclusiones más relevantes en la presente T.D., estructuradas en tres grupos fundamentales: generales, metodológicas y de resultados.

#### 9.1.1 Conclusiones generales

1) El coste de mayor repercusión en el coste total de una planta desalinizadora de ósmosis inversa es claramente el consumo energético, oscilando entre 47,67 y 42,35 c€/m<sup>3</sup> para una planta de 500 y 15.000 m<sup>3</sup>/día respectivamente.

2) Como aspecto novedoso de la presente T.D., se ha incorporado un nuevo coste, el coste medioambiental de la desalinización por ósmosis inversa. Este coste que hasta ahora no se había tenido en cuenta, se ha calculado en base a mezclar agua de mar sin tratar con el agua de rechazo. De esta forma se consigue aminorar el factor correspondiente al impacto medioambiental del proceso.

3) El análisis del novedoso coste medioambiental tiene una repercusión notable para capacidades de producción en el rango entre 500 y 5.000 m<sup>3</sup>/día ya que supone un 7% del coste total. Para capacidades de producción superiores el coste disminuye hasta el 2% del coste total.

4) Se ha podido contrastar que el coste de personal y de amortización se aminora a medida que aumenta la producción, motivo por el cual, es deseable que las plantas desalinizadoras se encuentren totalmente automatizadas y que el aporte del capital inicial sea lo máximo posible. Por ende, los costes correspondientes a la amortización y el personal disminuyen considerablemente sobre todo en la parte que corresponde al primer tramo del rango investigado.

5) La estabilización de los costes en función del aumento de la producción se inicia a partir de los 7.500 m<sup>3</sup>/día observando que a medida que aumentamos la producción se presenta un oscilación en torno al 1,5%.

6) Los recursos humanos necesarios para el correcto funcionamiento de una planta desalinizadora las 24 horas del día es de 7 y 10 trabajadores para producciones de 500 y 15.000 m<sup>3</sup>/día respectivamente.

### 9.1.2 Conclusiones metodológicas

1) El análisis de costes que se ha realizado responde a un modelo de planta (grafica 17), que corresponde con el 92% de las plantas desalinizadoras de O.I. investigadas y analizadas según el apartado correspondiente a la experiencia de campo.

2) El análisis de los costes se ha desarrollado en base a una estructura normalizada, según C. Fritzmann, [118], donde se tiene en cuenta los costes de inversión, es decir, la amortización del capital inicial y los costes de explotación o de operación dentro de los cuales se han analizado: el consumo de reactivos, la reposición de filtros de cartuchos, la reposición de membranas, el personal, el mantenimiento, el coste medioambiental y el consumo energético.

3) La experiencia de campo realizada, corresponde con una muestra significativa, en tanto en cuanto, se han visitado 36 plantas desalinizadoras lo que supone el 78% de las plantas desalinizadoras en la Isla de Gran Canaria. De éstas 36 plantas, solamente dos, es decir, un 5,5 % no corresponden con nuestro modelo de planta.

4) Teniendo en cuenta las 5 variables adoptadas: producción, factor de conversión, temperatura, ensuciamiento y número de membranas; se investigó con 4.032 combinaciones diferentes, de las cuales, sólo 1.728 opciones, el 42,85% de los casos estudiados, son las que se han considerados como casos óptimos de estudio.

5) Nuestra investigación en cuanto al modelo matemático se refiere, nos permite probar que el modelo univariante y el de mínimos cuadrados ponderados son adecuados a nuestra estructura de costes ya que reflejan en todo momento una sola variable dependiente (coste total) y una variable independiente (consumo energético) determinante y con gran peso con respecto al resto de los costes.

6) Para la obtención de los modelos, tanto univariante como mínimos cuadrados ponderados, se han realizado con anterioridad las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk mediante las cuales podemos confirmar la distribución normal.

Para todos los costes podemos observar que no existen valores perdidos, que los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M (Huber, Tukey, Hampel y Andrews) son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a confirmar la no existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad así como los diagramas representados muestran la normalidad de los datos.

También es importante hacer notar que los modelos matemáticos en los cuales hemos tomado como variable dependiente los costes totales, reagrupando en un coste llamado resto de costes los que presentan valores menos significativos, entre el 12 y el 14%, es decir, reactivos, filtros, membranas, mantenimiento y medioambiental tienen su utilidad para los casos en los cuales queramos conocer de manera aproximada, menos exacta pero más rápida el coste total de la planta desalinizadora de O.I.

### 9.1.3 Conclusiones de análisis de resultados

1) Se ha observado que el coste de amortización disminuye cuanto mayor sea la capacidad de producción manteniéndose constante el factor de conversión. También se ha observado que cuanto mayor sea el factor de conversión, menor es el coste de amortización. Se presentan claramente dos escenarios, uno de 500 a 5.000 m<sup>3</sup>/día y otro de 5.000 a 15.000 m<sup>3</sup>/día. En estos dos escenarios (grafica 102), se advierte que para un 42% de conversión el coste varía entre 14,78 y 9,4 c€/m<sup>3</sup>, mientras que para un 45% de conversión la variación está entre 14,60 y 9,2 c€/m<sup>3</sup>. El primer tramo presenta una pendiente cuya tangente corresponde a un ángulo de 54° y para el segundo tramo la pendiente corresponde a un ángulo de 11°. Se deduce que el segundo tramo presenta una pendiente cinco veces menor con respecto al primero y por tanto se estima que se inicia una estabilización del coste de amortización en el segundo tramo resultando una reducción del coste entre los dos extremos de los tramos del 36,5%.

2) Para el coste del consumo de reactivos, se observa que para un mayor factor de conversión se obtiene un menor coste de dicho consumo. Se presentan (grafica 103), dos escenarios bien diferenciados, uno hasta 5.000 m<sup>3</sup>/día y otro para una producción a partir de los 7.500 m<sup>3</sup>/día. Estos dos escenarios presentan la misma pendiente a cuya tangente le corresponde un ángulo de 2°, bastante estable. Los dos escenarios anteriores están unidos por un tramo cuya pendiente presenta un ángulo de 7°, lo que implica un salto cuatro veces menor. La repercusión en el coste del consumo de reactivos en este caso es de una reducción del 9,5%.

3) En el caso del coste correspondiente a la reposición de filtros de cartuchos (grafica 104), nos encontramos que para un factor de conversión mayor dicho coste disminuye. En lo que a los escenarios se refiere ocurre lo mismo que en el caso anterior, aunque en este caso la pendiente de los tramos es mucho menor, correspondiéndole un valor del ángulo de 0,1°. La repercusión en este coste como consecuencia del aumento de producción y de los factores de conversión corresponde a una reducción del 9,6%.

4) Para el coste de reposición de membranas (grafica 105), se mantiene una misma pendiente para los dos escenarios, correspondiéndoles un ángulo de  $1^\circ$ , unidos por un salto cuyo ángulo es de  $6^\circ$  y que une los escenarios anteriores entre sí correspondiendo a una producción entre 2.000 y 7.500 m<sup>3</sup>/día. Dicho coste es menor para un factor de conversión mayor. La disminución del coste en función de los factores de conversión es del 26,5%.

5) En el coste de personal (grafica 106), cuanto mayor es la capacidad de producción, menor es la repercusión de dicho coste en el m<sup>3</sup> de agua desalinizada. No obstante, también se concluye que dicho coste no depende del factor de conversión. Para el primer tramo hasta los 5.000 m<sup>3</sup>/día se obtiene una pendiente a cuya tangente le corresponde un valor de  $87^\circ$ , mientras que para el segundo tramo a partir de los 5.000 m<sup>3</sup>/día la pendiente presenta un valor de  $44^\circ$ . Consecuentemente, en el segundo tramo existe una estabilidad relativa en cuanto al coste se refiere.

6) El coste de mantenimiento (grafica 107), presenta una manifiesta estabilidad en el segundo tramo a partir de los 5.000 m<sup>3</sup>/día, manteniendo la pendiente el valor 0. Con respecto al primer tramo la pendiente presenta un ángulo de  $25^\circ$ . Igualmente, se puede concluir que cuanto mayor sea el factor de conversión menor es el coste de personal. La reducción de este coste en función de la producción y el factor de conversión es del 36%.

7) Según la grafica 108 se desprende que el coste medioambiental es independiente del factor de conversión. Se aprecia nítidamente los dos tramos comentados con anterioridad con pendientes cuyos ángulos son  $74^\circ$  y  $17^\circ$ . Al igual que los costes anteriores, a partir de los 7.500 m<sup>3</sup>/día se observa un principio de estabilidad.

8) La grafica 109 merece comentar que el coste debido al consumo energético es menor en cuanto a la repercusión se refiere, cuanto mayor sea la capacidad de producción. Para este tipo de coste se observa que cuanto mayor es el factor de conversión mayor es el coste del consumo energético. Dicha conclusión viene determinada también porque dicho coste viene afectado directamente por la potencia del grupo de la motobomba de alta presión, la cual es mayor cuanto mayor sea el factor de conversión. Asimismo en los dos escenarios comentados corresponden una pendiente de valores  $55^\circ$  y  $4^\circ$ . Para este tipo de coste, la reducción del mismo entre los escenarios estudiados es del 9,8%.

9) En relación con el coste generado por el consumo energético y particularmente el coste generado por el proceso de la ósmosis inversa, se ha de concluir en función de las graficas 110 y 111, que manteniendo el factor de conversión y el fouling factor constante, a medida que aumenta la temperatura el coste energético del proceso de ósmosis disminuye. De la misma manera resulta que cuando la membrana es nueva, considerando que el valor del fouling factor

sea 1, el coste energético del proceso es menor. Por lo tanto para todas las combinaciones realizadas, se ha observado que el coste energético es menor a una temperatura de 21°C y con un fouling factor de valor 1. [168]

10) En cuanto al coste total se refiere (grafica 112), se observan los dos tramos comentados con anterioridad de una forma acentuada. Para el primer tramo hasta los 5.000 m<sup>3</sup>/día, la pendiente tiene un ángulo de valor 88° mientras que para el segundo tramo, a partir de los 5.000 m<sup>3</sup>/día el ángulo es de 59°. Esto confirma que en este segundo tramo se inicia la estabilización, observada en varios costes de los que hemos analizado. También se puede advertir que la diferencia entre los dos factores de conversión para cada una de las producciones investigadas en el peor de los casos es de 1 c€/m<sup>3</sup> resaltándose que para determinadas producciones los valores son prácticamente iguales.

11) El modelo de los mínimos cuadrados ponderados, con el consumo energético como variable ponderadora, en función del análisis realizado de la T.D., indica que es el que mejor se adapta y presenta mejores resultados que el modelo univariante, para los resultados obtenidos según la tabla 138. [169]

12) El apartado que estudia la simulación con datos reales, el margen de error que nos presenta la realidad, en comparación con el modelo matemático elegido y los resultados aportados no llega al 2% en el peor de los casos, haciendo la salvedad para una producción de 15.000 m<sup>3</sup>/día, debido a que las muestras para dicha producción son pocas, aunque se estaría en torno al 3% de margen de error con respecto a la realidad. [170]

13) Como última conclusión de resultados y analizando la totalidad de las líneas de producción, se expone detalladamente cual es la línea de producción más óptima para cada uno de los costes investigados y la línea de producción general óptima dentro del rango investigado destacándose que se ha analizado cada línea de producción atendiendo al inicio de estabilidad de las mismas.

Coste de Amortización:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste del consumo de reactivos:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste de reposición de filtros de cartuchos:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste de reposición de membranas:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste de personal:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste de mantenimiento:	5.000 m <sup>3</sup> /día
Coste medioambiental:	7.500 m <sup>3</sup> /día
Coste del consumo energético:	10.000 m <sup>3</sup> /día

Como consecuencia de todo lo anterior se concluye finalmente que la línea de producción más óptima desde el punto de vista de los costes en plantas desalinizadoras de agua de mar mediante ósmosis inversa corresponde a una producción de 7.500 m<sup>3</sup>/día.

## 9.2 Difusión del Trabajo de Investigación

Algunos de los resultados más importantes de esta T.D. han dado lugar a la elaboración de 3 artículos presentados en esta T.D.

El trabajo de investigación presentado ha tenido su difusión previa en congresos internacionales y como consecuencia de los mismos han sido publicados en revista con índices de impacto.

El artículo identificado con el número [168] de nuestra bibliografía ha sido aceptado para su exposición oral en el Congreso Internacional, “*Desalination for the environment, clean water and energy*”, en Barcelona, en abril de 2012 y ha sido publicado en la revista *Desalination and Water Treatment* en enero de 2013.

El artículo identificado con el número [169] de nuestra bibliografía ha sido aceptado para su exposición oral en el Congreso Internacional, “*Membranes in drinking and industrial water production*”, en Leeuwarden, The Netherlands, en septiembre de 2012 y ha sido publicado en la revista *Desalination and Water Treatment* en julio de 2013.

Por último comentar que se ha presentado el artículo con número [170] de nuestra bibliografía en la revista *IJEE* (*International journal of Electrical, Electronics and Telecommunication Engineering*) habiendo sido aceptado y asignándosele el ID con número *IJEE10159*, estando en este momento pendiente de la asignación de fecha de su publicación.

## 9.3 Nuevas Líneas de Investigación

Este trabajo de investigación desarrollado contribuye a despejar algunas incógnitas sobre el coste de la desalinización por ósmosis inversa, sin embargo, de forma simultánea, genera nuevas preguntas, nuevas ideas y de esta forma, abre nuevas líneas de investigación.

En este apartado de la T.D. se presentan algunas de las líneas de investigación que pueden ser objeto de interés, atendiendo al trabajo expuesto en la presente T.D.

1) Como consecuencia de las valoraciones anteriores y las tablas de resultados de la T.D., para la capacidad de producción de 7.500 m<sup>3</sup>/día se localiza el inicio de la estabilización de los valores, lo que nos podría indicar, que se debe abrir una línea de investigación para producciones de 8.000 y 9.000 m<sup>3</sup>/día para obtener los resultados de costes correspondientes y poder compararlos con los aquí presentados.

2) En este trabajo de investigación entre otros factores de diseño se trabajó con un rendimiento de la maquinaria fijado en el 80%. Se debería investigar en la mejora de los rendimientos de la maquinaria con el fin de estudiar de qué manera afectaría a los costes y en qué porcentajes.

3) Se ha realizado una estimación para una planta de 7.500 m<sup>3</sup>/día de producción, introduciendo en la planta desalinizadora energías alternativas. Como consecuencia de esto, el coste de inversión aumentaría un 30% y el coste del consumo energético disminuiría en torno a un 65%, según las fuentes bibliográficas consultadas.

Con el fin de intentar optimizar y por tanto reducir los costes en las líneas de producción para las plantas desalinizadoras de O.I. y sabiendo, según muestran los resultados de la T.D. que el consumo energético es el factor de costes más importantes, se debería abrir una línea de investigación en base a introducir las energías alternativas como reducción del citado coste.



# CAPITULO 10

## Bibliografía



## Capítulo 10. Bibliografía

- [1] Tomás Balibrea Luis Manuel, Latorre Carrión Manuel, Vicente Caballero Carlos. "El proceso de la desalación". Dyna ingeniería e industria. (febrero 2005)
- [2] Veza José Miguel. "Introducción a la desalación de aguas". Servicio de Publicaciones y Producción Documental de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2002)
- [3] Silver, R.S. "British Patent Application". (septiembre 1957)
- [4] Ros Moreno Antonio. "El Agua. Desalación". (junio 2001)
- [5] Zúñiga Santana Juan Francisco, Oviedo Rivero Iraida, Cancio Martínez Elena. "La desalinización del agua de mar y su tendencia actual". Energía y tu. (diciembre 2005)
- [6] Marcos E.. "El mercado mundial de la desalinización". Soliclíma. (abril 2009)
- [7] Pfeffer. "Osmotische Untersuchungen". Leipzig. (1877)
- [8] Van't Hoff. "Physic Chem". (1877)
- [9] Loeb S., Sourirajan S.. "Advan. Chem. Ser." (1962)
- [10] Loeb S. "UCLA Department of Engineering Report". (1966)
- [11] Antonio Girelli. "Fresh water from de sea". Pergamon Press. 1965.
- [12] Loeb S. y Merten U. "Desalination by Reverse Osmosis". Edt. Cambridge, Mass. The MITI Press. 1966.
- [13] Sadhwani José J.. "Estudio de sistemas de limpieza en membranas de ósmosis inversa". Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (1999)
- [14] Sourirajan S. "Reverse Osmosis". Academic Press. New York 1970.
- [15] Vaillant J.R. "Les problemes du desalement de l'eau de mer". Eyroles. 1970
- [16] Porteous Andrew. "Saline water desalination proceses". Applied Science. 1975
- [17] Spiegler. "Salt Water purification". Academic Press 1977.
- [18] Spiegler and Laird: "Principles of desalination", 2/ed. Academic Press 1980.
- [19] Aguado Alonso José. "Inaugurada en Israel la mayor desalinizadora del mundo". El agua. (abril 2006)
- [20] Castilla Luis. "Viabilidad económica y uso sostenible de las nuevas fuentes de agua". Acciona. (2006)
- [21] Milliarium Aureum, S.L.. "Desalinizadoras y desalobradoras". Ingeniería Civil y medio Ambiente. (2004)

- [22] Hernández Suárez Manuel. "Datos estadísticos sobre el agua en Canarias". Centro Canario del Agua. (2007/2010)
- [23] Gobierno de Canarias. Dirección General de Aguas. "El agua en Canarias". (2009)
- [24] Sadhwani José J.. Curso "Repercusión económica del agua de mar desalada por ósmosis inversa". (marzo 2011)
- [25] Medina San Juan José Antonio. "Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa". Ediciones Mundi-Prensa. (2000)
- [26] Scott Jeannette. "Desalination of seawater by R.O." NDC 1981.
- [27] Simon, G. "Desalination and water purification". Elsevier 1986.
- [28] Morel A. "Osmosis inverse and Ultrafiltration". Academic Press. 1987.
- [29] Bipin S. Pareekh, "R.O. Technology. Marcel Dekker Inc". New York and Basel. 1998.
- [30] Protesa desalación. "Montaje tuberías circulación en estación desaladora agua de mar Degremont Curaçao, (Netherland Antilles)". (Agosto 2004)
- [31] Herranz Susana. "Nueva desalinizadora de agua marina del Canal de Alicante (Alicante II)". Infoenviro. (septiembre 2008)
- [32] Vicente Caballero Carlos. "Descripción del funcionamiento de la desaladora de agua de mar del Canal de Alicante". Revista Dyna. Enero-Febrero 2005
- [33] Martínez, D., Senent. M., Cortejosa J.M.. "Los costes de la desalación del agua de mar". Congreso Nacional de gestión del agua en cuencas deficitarias. (2001)
- [34] Herranz Susana. "Desalinizadora de Melilla". Infoenviro. (septiembre 2007)
- [35] Herranz Susana. "Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)". Infoenviro. (enero 2009)
- [36] Torres Corral M. "Avances Técnicos en la Desalinización de Aguas". Ambienta. (octubre 2004)
- [37] Página web de la Turbina Pelton [http://members.tripod.com/mqhd\\_ita.mx/u3.htm](http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm)
- [38] Chip Harris. "Energy recovery for membrane desalination". Desalination, **133**, 173-180. (1999)
- [39] Página web del Turbocharger <http://www.fedco-usa.com/wordpress/>
- [40] Página web Aqualyng [http://www.Aqualyng/Desalination\\_Plant/189\\_0/s\\_supplier.html](http://www.Aqualyng/Desalination_Plant/189_0/s_supplier.html)
- [41] Página Web R.O. Kinetic [http://www.gestagua.com/es/ro\\_kinetic/ro\\_kinetic\\_descripcion.html](http://www.gestagua.com/es/ro_kinetic/ro_kinetic_descripcion.html)
- [42] Estevan Antonio, García Sánchez-Colomer Manuel. "El consumo de energía en la desalación de agua de mar por ósmosis inversa: situación actual y perspectivas". Ingeniería Civil. (2007)
- [43] Stephan Bross, Wolfgang Kochanowski. "SWRO core hydraulic system: Extension of the SalTec DT to higher flows and lower energy consumption". Desalination, **203**, 160-167. (2007)

- [44] Página web Eri-Px <http://www.energyrecovery.com/>
- [45] Richard L. Stover. "Development of a fourth generation energy recovery device. A 'CTO's Notebook'. Desalination, **165**, 313-321. (2004)
- [46] John P. MacHarg. "Retro.fitting existing SWRO systems with a new energy recovery device". Desalination, **153**, 253-264. (2002)
- [47] Richard L. Stover. "Seawater reverse osmosis with isobaric energy recovery devices". Desalination, **203**, 168-175. (2007)
- [48] M. Fariñas, J. Malfeito. "El consumo energético en el empleo de membranas". PRIDESA. (2005)
- [49] Fariñas Iglesias Manuel. "Reducción de consumo específico de energía en las desalinizadoras de agua de mar de nueva generación". Acciona. (2006)
- [50] Martínez Vicente David. "Estudio de la viabilidad técnico-económica de la desalación de agua de mar por ósmosis inversa en España". Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. (2002)
- [51] Lorente Arencibia Tomas. "Evaluación del Impacto Ambiental de la desalación de agua de mar en Gran Canaria". Proyecto final de carrera. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2009)
- [52] Rodríguez Díaz Gonay. "Diseño y cálculo de una planta desalinizadora de ósmosis inversa para el abastecimiento del centro penitenciario de Juan Grande". Proyecto final de carrera. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2010)
- [53] Ginory García Oliver. "Estudio económico comparativo de los distintos sistemas de recuperación de energía de la salmuera de plantas desalinizadoras de ósmosis inversa". Proyecto final de carrera. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2008)
- [54] Fariñas, M. "Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones". McGraw-Hill. (1999)
- [55] BOE, número 315. Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre.
- [56] BOE, número 77. Orden ITC/688/2011, de 30 de marzo.
- [57] Diaz Diaz Anastasio. "Proyecto de Planta desalinizadora por ósmosis inversa para agua de mar de capacidad de 2000 m<sup>3</sup>/día". Ubicación Anfi Tauro. (2000)
- [58] Degremont. "Manual Técnico del Agua". (1979)
- [59] Ministerio de la Presidencia. "REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano". (2003)
- [60] La ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, estableció la obligación de orientar sus actuaciones hacia la promoción de la salud y la prevención de enfermedades. (1986)
- [61] El REAL DECRETO 1138/1990, de 14 de septiembre, aprueba el control de la calidad de las aguas potables para el consumo humano.

- [62] Déniz Quintana Fabián A. "Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa". Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (febrero de 2010)
- [63] Argudo Espinosa Celso. "Concepción integral y aplicación experimental de procesos de membranas en reutilización de aguas depuradas". Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (abril de 2011)
- [64] Ruiz Saavedra Enrique. "Análisis de procesos de membranas. Desalinización de aguas salobres". Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (julio de 2011)
- [65] García Latorre Francisco Javier. "Análisis y simulación de la tecnología de la O.I. con fuentes energéticas no convencionales". Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (enero 2013)
- [66] Valero Antonio, Uche Javier, Serra Luis. "La desalinización como alternativa al PHM" Gobierno de Aragón. (2001)
- [67] A. Poullikkas. "Optimization algorithm for reverse osmosis desalination economics". *Desalination*, **133**, 75-81. (2001).
- [68] D.P. Rico and M.F.C. Arias. "A reverse osmosis potable water plant at Alicante University: first years of operation". *Desalination*, **137**, 91-102. (2001).
- [69] D. Prats, M. F. Chillón, M. Rubio and J. A. Reverter. *Desalination* **109**, 315. (1997).
- [70] D. Prats, M. F. Chillón and A. Ferrón Gómez. Proc. "IDA World Congress on desalination and water reuse". Madrid **1**, 219. (1997).
- [71] Cámara, J.M., Melián, M.A. "Las técnicas de desalación y sus costes". *Agricultura*. (2002)
- [72] S.A. Avlonitis. "Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants". *Desalination*, **142**, 295-304. (2002).
- [73] G. F. Leitner. "Water cost analysis ... we need to do better". *Desalination and water reuse*. **5**, 24-27. (1995).
- [74] A. Malek, M. N. A. Hawlader and J. C. Ho. "Design and economics of RO seawater desalination". *Desalination*, **105**, 245-261. (1996).
- [75] M. Pappas and K. Moutesidis. "Remote Operation and automation for RO plants. Final year project". TEI Halkidas. (2001).
- [76] Y. Al-Wazzan, M. Safar, S. Ebrahim, N. Burney and A. Mesri. "Desalting of subsurface water using spiral-wound reverse osmosis (RO) system: technical and economic assessment". *Desalination*, **143**, 21-28. (2002).
- [77] Hafez, A., El-Manharawy, S. "Economics of seawater RO desalination in the Red Sea region, Egypt. Part 1. A case study". *Desalination*, **153** (1-3), pp 335-347. (2003).

- [78] S. El-Manharawy and. A. Hafez. "Molar ratios as a useful tool for prediction of scaling potential inside RO system". *Desalination*, **136**, 243-254. (2000).
- [79] S. El-Manharawy and. A. Hafez. "Technical management of RO system". *Desalination* **131**, 173-188. (2000).
- [80] S. El-Manharawy and. A. Hafez. "Water type and guidelines for RO system design". *Desalination*, **139**, 97-113. (2001).
- [81] O. Sallangos and E. Kantilafitis. "Operating experience of the Dhekelia seawater desalination plant". *Desalination*, **139**, 115-123. (2001).
- [82] M. Faigon. "Process control of Larnaca seawater RO plant". *Desalination*, **138**, 297-298. (2001).
- [83] Latorre Manuel. "Costes económicos y medioambientales de la desalinización de agua de mar". IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. (2004)
- [84] Vega. C. "Pequeñas Desaladoras: Una alternativa a problemas de calidad del agua. Medio Ambiente". Instituto del Agua de Andalucía. Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente. (2004).
- [85] Fazilet Mascan, Dianne E. Wiley, Lloyd P.M. Johnston, David J. Clements. "Optimal design of reverse osmosis module networks". *Aiche Journal*. Volume **46**, Issue 5, abril de 2004, pages 946-954.
- [86] Bansal, I. K., and A.J. Wiley. "A Mathematical Model for Optimizing the Design of Reverse Osmosis Systems". *TAPPI*, **56**, 112. 1973.
- [87] Edlinguer, R. and F.Z. Gomila. "Ibiza Seawater RO-Special Design Features and Operating data". *Desalination*, **105**, 125. (1996).
- [88] El-Halwagi, M. M. "Synthesis of reverse osmosis networks for waste reduction". *Aiche Journal*. **38**, 1185. (1992)
- [89] Evangelista, F. "A short cut method for the design of reverse osmosis desalination plants". *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* **24**, 211. (1985).
- [90] Evangelista, F. "Improved graphical analytical method for the design of reverse osmosis desalination plants". *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* **25**, 366. (1986).
- [91] Fan, L. T., C.L. Hwang, L.E. Erickson, C. Y. Cheng, and L.Y.S. Ho. "Analysis and Optimization of Reverse-Osmosis Water Purification System: I: Process Analysis and simulation". *Desalination*, **5**, 237. (1968).
- [92] Fan, L. T., C.L. Hwang, L.E. Erickson, C. Y. Cheng, and L.Y.S. Ho. "Analysis and Optimization of Reverse-Osmosis Water Purification System: II: Optimization". *Desalination*, **6**, 131. (1969).

- [93] Geankoplis, Christie J. "Transport Processes and Unit Operations. Allyn and Bacon". Boston. (1983).
- [94] Henriquez, J.F., J. Bonet, and J. Etxaniz. "Galdar-Agaete Seawater Desalination Plant Construction and One Year Operational Experience for the 3.500 m<sup>3</sup>/day RO Plant". *Desalination*, **82**, 71. (1991).
- [95] Kimura, S., S. Sourirajan, and H. Ohya. "Stagewise reverse-osmosis process design". *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* **8**, 79. (1969).
- [96] Noshita, M. "Reverse Osmosis Seawater Desalination for Power Plant". *Desalination*, **96**, 359. (1994).
- [97] Navarro, M.A.M., Zapata, J.M.C. y Trujillo, J.A.G. "Cuantificación del coste del agua de mar desalada por ósmosis inversa para riego". *Tecnología del Agua*. Volumen **25**, Issue 257, febrero de 2005, páginas 40-46.
- [98] Arango, H. Gómez A. "Diseño de una planta desalinizadora de ósmosis inversa, parámetros y componentes principales". *Tecnología Del Agua*, **183**, 55-64. (1998)
- [99] Cámara, J.M., Melián, M.A. "Las técnicas de desalación y su cuantificación en términos económicos". 2004. Agricultura. Revista Agropecuaria.
- [100] Centro Canario del Agua. Fundación Canaria Centro. "Desalación en Canarias". (2002).
- [101] Martínez, D. "Estudio de la viabilidad técnico-económica de la desalación de agua de mar por ósmosis inversa en España". 2003. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia.
- [102] Medina, J. A. "Una aproximación a los costes reales de la desalación de aguas salobres y de mar". 2001. Comunicación presentada por la Asociación Española de Desalación y Reutilización. Alicante.
- [103] D. Sambrailo, J. Ivic and A. Krstulovic. "Economic evaluation of the first desalination plant in Croatia". *Desalination*, **170**, 339-344. (2005).
- [104] D. Sambrailo and J. Ivic. *Desalination*, **132**, 329-335. (2000).
- [105] M. D. Afonso, J. O. Jaber and M. S. Mohsen. *Desalination*, **164**, 157-171. (2004).
- [106] M. Ahmed, W. H. Shayya, D. Hoey and J. Al-Handaly. *Desalination*, **133**, 135-147. (2001).
- [107] M.H.I. Dore. "Forecasting the economic costs of desalination technology". *Desalination*, **172**, 207-214. (2005).
- [108] K. Wangnick. "The development in seawater desalination, EDS newsletter". Nº 18. (2003).
- [109] H. Kunze. *Desalination*, **139**, 35-41. (2001).
- [110] R. V. Azpitarte, A. A. Mesa and C. M. Gomez. *Desalination*, **108**, 43-50. (1996).
- [111] A. C. F. Ammerlaan. *Desalination*, **40**, 317-326. (1982).

- [112] . M. Abulnor, M. H. Sorour, F. A. Hammauda and A. M. Abdel Dazen. *Desalination*, **44**, 189-198. (1983).
- [113] K. Klinko and M. Wilf. *Desalination*, **138**, 299-306. (2001).
- [114] Wilf M., Bartels C. "Optimization of seawater RO systems design". *Desalination*, **173**, 1-12. (2005).
- [115] U. Atikol and H.S. Aybar. "Estimation of water production cost in the feasibility analysis of RO systems". *Desalination*, **184**, 253-258. (2005).
- [116] Hernández Suárez Manuel. "Distribución de costes para una planta desalinizadora de ósmosis inversa de 50.000 m<sup>3</sup>/día". Centro Canario del Agua. (2005)
- [117] Fariñas M. "El coste del agua producida por las grandes desaladoras de agua de mar en España". I.T. n°72. (2005)
- [118] Tamim Younos. "The economics of desalination". *Journal of Contemporary Research & Education*. **132**, 39-45. (December 2005)
- [119] C. Fritzmann, J. Lowenberg, T. Wintgens, T. Melin. "State of the art of reverse osmosis desalination". *Desalination*, **216**, 1-76. (2007).
- [120] M. Wilf. "Fundamentals of RO-NF technology". International Conference on Desalination Costing. Limassol. (2004)
- [121] G.K. Pearce, S. Talo, K. Chida, A. Basha and A. Gulamhusein. "Pre-treatment options for large scale SWRO plants: case study of UF trials at Kindasa, Saudi Arabia, and conventional pre-treatment in Spain". *Desalination*, **167**, 175-189. (2004).
- [122] J. Del Castillo. "Desalination costs at the Spanish Mediterranean Coast, The Bahia de Palma, Mallorca Case. International Conference on Desalination Costing. Limassol. (2004)
- [123] [http://www.inima.com/referencias/des\\_marbella.pdf](http://www.inima.com/referencias/des_marbella.pdf)
- [124] [http://www.inima.com/referencias/des\\_telde.pdf](http://www.inima.com/referencias/des_telde.pdf)
- [125] [http://www.inima.com/referencias/des\\_lanzaroteIV.pdf](http://www.inima.com/referencias/des_lanzaroteIV.pdf)
- [126] [http://www.inima.com/referencias/des\\_alicantell.pdf](http://www.inima.com/referencias/des_alicantell.pdf)
- [127] <http://www.ci.huntington-beach/users/appendix/desalination/located/throughtout/world.pdf>
- [128] Gilau, A.M., Small, M.J. "Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options". *Renewable Energy*. Volume **33**, Issue 4, abril de 2008, pages 617-630.
- [129] Carta, J.A., González, J., Subiela, V. "Operational análisis of an innovative wind powered reverse osmosis system installed in the Canary Islands". *Solar Energy*, **75** (2), pages 153-168. (2003).
- [130] Avlonitis, S.A. "Optimization of the design and operation of seawater RO desalination plants". *Separation Science and Technology*, **40** (13), pages 2663-2678. (2005).

- [131] Moreno, F., Pinilla, A. "Preliminary experimental study of a small reverse osmosis wind-powered desalination plant". *Desalination*, **171**, 257-265. (2005).
- [132] Nisan, S., Commercon, B., Dardour, S. "A new method for the treatment of the reverse osmosis process, with preheating of the feedwater". *Desalination*, **182**, 483-495. (2005).
- [133] Zhou, Y., Tol, R.S.J. "Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resources Research*", **41**, (3), pp 1-10. (2005).
- [134] Demet Akgul, Mehmet Cakmakc, Necati Kayaalp, Ismail Koyuncu. "Cost analysis of seawater desalination with reverse osmosis in Turkey". *Desalination*, **220**, 123-131. (2008).
- [135] D. Akgul. "Cost analysis of potable and usable water production by reverse osmosis and nanofiltration". MSc Thesis. Istanbul Technical University. Institute of Natural Science. Istanbul. Turkey. (2006).
- [136] Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong-Mihn Wie. "Advances in seawater desalination technologies". *Desalination*, **221**, 47-69. (2008).
- [137] Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos. "Water desalination cost literature: review and assessment". *Desalination*, **223**, 448-456. (2008).
- [138] AMTA ( American Membrane Technology Association). "Desalting Facts: How much Does Desalted Water Cost". 2001a. (2003).
- [139] S. Chaudhry. "Unit cost of desalination". CA Desalination Task Force Sausalito. (2003).
- [140] I.C. Karagiannis and P.G. Soldatos. "Current status of water desalination in the Aegean Islands". *Desalination*, **203**, 56-61. (2007).
- [141] E.S. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis and V. Belessiotis. "The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system; experimental and economic evaluation". *Desalination*, **184**, 241-246. (2005).
- [142] M. A. Rayan and I. Khaled. "Seawater desalination by reverse osmosis (case study)". *Desalination*, **153**, 245-251. (2002).
- [143] D. Zejli, R. Benchrifa, A. Bennouna and K. Zazi. "Economic analysis of wind-powered desalination in the south of Morocco". *Desalination*, **165**, 219-230. (2004).
- [144] G.F. Leitner. "Total water costs on a standard basis for three large, operating, SWRO plants". *Desalination*, **81**, 39-48. (1991).
- [145] Y. Dreizin. "Ashkelon seawater desalination project—off takers self costs, supplied water costs, total costs and benefits". *Desalination*, **190**, 104-116. (2006).
- [146] Salah Frioui, Rabah Oumeddour. "Investment and production costs of desalination plants by semi-empirical method". *Desalination*, **223**, 457-463. (2008).

- [147] A. Lamei, P. Van der Zaag, E. Von Munich. "Basic cost equations to estimate unit production costs for RO desalination and long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt". *Desalination*, **225**, 1-12. (2008).
- [148] D. Voivontas, G. Arampatzis, E. Maoli, C. Karavitis and D. Assimacopoulos. "Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands: the case of Paros, Greece". *Desalination*, **156**, 127-135. (2003).
- [149] Michelle K. Wittholz, Brian K. O'Neill, Chris B. Colby, David Lewis. "Estimating the cost of desalination plants using a cost database". *Desalination*, **229**, 10-20. (2008).
- [150] M. Wilf. "Optimization of seawater RO systems design". *Desalination*, **138**, 299-306. (2001).
- [151] H.M. Ettouney, H.T. El-Dessouky, R.S. Faibish and P.J. Gowin. "Evaluating the economics of desalination". *Chem. Eng. Progr.* **100**, (12), 32-39. (2002).
- [152] G. Fosselard and K. Wangnick. "Comprehensive study on capital and operational expenditures for different types of seawater desalting plants (RO, MVC, ME, ME-TVC, MSF) rated between 200 m<sup>3</sup>/d and 3.000 m<sup>3</sup>/d". *Desalination*, **76**, 215-240. (1989).
- [153] Y. Zhou and R.S.J. Tol. "Implications of desalination for water resources in China—An economic perspective". *Desalination*, **164**, 225-240. (2004).
- [154] Catherine Charcosset. "A review of membrane processes and renewable energies for desalination". *Desalination*, **245**, 214-231. (2009).
- [155] Rabia Seda Timura, Göksel Demirb, Aslı Çobanb, Adnan Çorumc, Tunç Bozburac. "Decreasing water resources and a comprehensive approach to seawater reverse osmosis (SWRO): Case study—Cost analysis of a sample SWRO system". *Desalination and water treatment*, **26**, 145-151. (2011)
- [156] Veera Gnaneswar Gude: "Energy consumption and recovery in reverse osmosis". *Desalination and water treatment*, **36**, 239-260. (2011)
- [157] Software ERI-PX, Hoja de cálculo de la empresa Energy Ricovey Inc (ERI).
- [158] Convenio Colectivo del sector "Siderometalurgia en la Provincia de Las Palmas" de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio, firmado el 11 de abril de 2011 en la Provincia de Las Palmas.
- [159] Convenio Colectivo del sector "Siderometalurgia en la Provincia de Santa cruz de Tenerife" de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio, firmado el 7 de septiembre de 2011 en la Provincia de Santa Cruz de Tenerife.
- [160] Manual para la implantación de Sistemas de depuración en pequeñas poblaciones, CENTA y CEDEX del 3 de marzo de 2011.

- [161] Software ROSA, versión 7.2.1, Reverse Osmosis System Analysis for FILMTECTM Membranes.
- [162] Cuevas Mijangos Rafael José. "Matemáticas para la toma de decisiones. Unidad 2". (2004)
- [163] Moore et al., (1993)
- [164] Hair et al. (1999)
- [165] Salvador Figueras M. "Introducción al análisis multivariante". (2000)
- [166] Software SPSS, Statistical Package for the social sciences, versión 20. IBM
- [167] Pérez López César. "Técnicas de análisis de datos con SPSS". (2009)
- [168] José Feo, J. Jaime Sadhwani, Luis Alvarez. "More efficient production line with desalination plants using reverse osmosis". Desalination and water treatment, **51**, 307-317. (2013)
- [169] José Feo, J. Jaime Sadhwani, Luis Alvarez. "Cost analysis in RO Desalination Plants production lines. Mathematical model and simulation". Desalination and water treatment, **51**, 4800-4805. (2013)
- [170] José Feo, J. Jaime Sadhwani, Luis Alvarez. "More efficient production line. Desalination plants by using reverse osmosis. Cost analysis and mathematical model". Aceptada para su publicación, con ID número IJEE10159. Pendiente de la asignación de fecha de su publicación definitiva en la revista IJEE.