



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE “CADIX” PARA SIMULACIÓN DE UNIDADES DE INTERCAMBIO IÓNICO

Autora: Cristina Equisoain Ladrón de Guevara

Directora: Eva Francés Pérez

Especialidad: Química Industrial

Convocatoria: Septiembre 2012

Resumen del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto la elaboración de un manual de uso del software *CADIX* (Computer Assisted Design for Ion eXchange systems), creado por la compañía *Dow Chemical* para la simulación de unidades de intercambio iónico.

El proyecto presenta una descripción del proceso de intercambio iónico, en el que se describe su fundamento, los diferentes tipos que hay y algunas de sus aplicaciones más importantes. Se incluye una breve introducción de la empresa “*Dow Chemical*”, creadora del software y una de las mayores compañías químicas del mundo.

A continuación se muestra el manual de utilización del software *CADIX*, en el cual se describe su descarga e instalación, así como las distintas partes de las que consta el programa.

Finalmente incluye un caso práctico para mostrar la aplicación y utilización del programa *CADIX* para la resolución de un problema concreto de desmineralización de agua.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
2. INTRODUCCIÓN AL INTERCAMBIO IÓNICO	8
2.1. FUNDAMENTO DEL INTERCAMBIO IÓNICO	8
2.1.1. <i>Características de un intercambiador iónico</i>	8
2.1.2. <i>Proceso de intercambio iónico</i>	9
2.1.3. <i>Variables de interés.....</i>	10
2.2. TIPOS DE INTERCAMBIADORES IÓNICOS.....	11
2.2.1. <i>Intercambiadores catiónicos.....</i>	12
2.2.2. <i>Intercambiadores aniónicos.....</i>	13
2.3. REGENERACIÓN.....	14
2.3.1. <i>Métodos de regeneración.....</i>	15
2.4. APLICACIONES.....	16
2.4.1. <i>Tratamiento de aguas.....</i>	16
2.4.1.1. <i>Eliminación de la dureza del agua</i>	16
2.4.1.2. Alcalinidad del agua	17
2.4.1.3. Eliminación de materia orgánica	18
2.4.1.4. Eliminación de nitratos	18
2.4.1.5. Eliminación del ion amonio.....	19
2.4.1.6. Desionización del agua	19
2.4.2. <i>Residuos nucleares</i>	20
2.4.3. <i>Aplicaciones en la industria alimentaria</i>	20
2.4.4. <i>Aplicaciones en la industria farmacéutica</i>	20
2.4.5. <i>Catálisis</i>	21
2.4.6. <i>Agricultura.....</i>	22
2.4.7. <i>Hidrometalurgia</i>	22
2.5. EQUIPOS DE INTERCAMBIO IÓNICO	23
3. DOW CHEMICAL.....	27
4. EL PROGRAMA CADIX	30
4.1. DESCARGA E INSTALACIÓN DE CADIX	30
4.1.1. <i>Descarga</i>	30
4.1.2. <i>Instalación.....</i>	31
4.2. REGISTRO DEL USUARIO.....	35
4.3. VARIABLES DE INTERÉS DEL PROGRAMA.....	40
4.3.1. <i>Temperatura y flujos</i>	40

4.3.1.1. Temperatura.....	41
4.3.1.2. Flujos	41
4.3.2. <i>Parámetros de calidad del agua</i>	41
4.3.2.1. "Silica as SiO2".....	41
4.3.2.2. "pH".....	42
4.3.2.3. "Free CO2"	42
4.3.2.4. "Organics as KMnO4".....	44
4.3.2.5. "Organics as O2"	44
4.3.2.6. "% non polar"	44
4.3.2.7. "Suspended material (average)"	44
5. MANEJO Y FUNCIONAMIENTO DE CADIX	45
5.1. CABECERA PRINCIPAL	46
5.1.1. <i>File (Archivo)</i>	46
1) New Project (Nuevo proyecto)	47
2) Open Project (Abrir un proyecto).....	49
3) Save Project (Guardar un proyecto).....	49
4) Save Project as (Guardar un proyecto como...)	50
5) Delete Project (Borrar un proyecto).....	51
6) Close Project (Cerrar un proyecto).....	51
7) Print setup (Configuración de la impresora).....	51
8) Print (Imprimir)	55
9) Sent Cadix Result by E-mail (Mandar por e-mail el resultado del proyecto) ..	56
10) Quick Process Selection (Selección de un proceso)	58
11) Exit Cadix (Salir del programa Cadix)	58
5.1.2. <i>Tools (Herramientas)</i>	58
1) Comparative Cost Evaluation (Evaluación de los costes comparativos)	59
2) Update Currency Rate (Actualizar la tasa de la moneda).....	66
3) DOWEX resin pricing (Precios de resina DOWEX)	67
4) Custom vessel list (Lista de recipientes de medida)	68
5) Default water analysis (Análisis de agua predeterminado)	73
6) DOWEX literature (Librería de DOWEX).....	78
7) Dowex literature download (Descarga de librería Dowex)	78
8) Resin cross reference chart (Tabla de referencias de resinas)	79
9) Number format (Formato de número)	80
10) Feed water analysis (Análisis del agua de la alimentación).....	80
11) Organic load (Carga orgánica)	81
12) Cadix tools (Herramientas de Cadix)	81
13) Acces to LS Web site (Acceso a la página web de LS)	85
14) Cadix Incident Report (Informe de incidente de Cadix)	85
5.1.3. <i>Options (Opciones)</i>	85

1)	Unit system (Sistema de unidades).....	86
2)	Activate PDF files lecture (Activar la lectura de archivos pdf).....	86
3)	Activate PDF Writer (Activar el escritor de pdf).....	86
4)	Edit/Change default parameters (Editar/modificar parámetros predeterminados)	87
5)	Change default projects folder (Cambiar la carpeta predeterminada de proyectos).....	88
5.1.4.	<i>Help (Ayuda)</i>	89
1)	Cadix Help (Ayuda de Cadix)	89
2)	About Cadix (Sobre Cadix).....	91
5.2.	CABECERA SECUNDARIA.....	93
5.3.	PIE DE VENTANA	97
5.4.	MENÚ DE NAVEGACIÓN.....	99
5.4.1.	<i>"Input"</i>	100
5.4.2.	<i>"Results"</i>	101
5.4.3.	<i>"Calc & Customize"</i>	102
5.5.	DISEÑO DEL PROYECTO.....	104
5.5.1.	<i>Ventana de inicio</i>	104
5.5.2.	<i>Elección del proceso</i>	105
5.5.3.	<i>Diseño y evaluación de una nueva planta</i>	105
5.5.3.1.	Composición del agua de alimentación	106
5.5.3.2.	Propiedades del agua de alimentación	106
5.5.3.3.	Sistema de regeneración	107
5.5.3.4.	Parámetros de la planta	109
5.5.3.5.	Requisitos del agua de salida	110
5.5.3.6.	Parámetros de la regeneración.....	111
5.5.3.7.	Selección de la resina DOWEX	112
5.5.3.8.	Descripción de la planta existente	113
5.5.3.9.	Parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico.....	114
5.5.3.10.	Evaluación de la resina aniónica	115
5.5.3.11.	Resultados obtenidos	116
5.5.3.12.	Diseño completado	121
5.5.4.	<i>Adaptación de una planta existente</i>	122
5.5.4.1.	Composición y propiedades del agua de alimentación y sistema de regeneración 122	
5.5.4.2.	Representación gráfica del sistema	122
5.5.4.3.	Conclusiones	123
6.	CASO PRÁCTICO	125
6.1.	DISEÑO PRÁCTICO DEL SISTEMA	126
6.1.1.	<i>Ventana de inicio</i>	127

6.1.2.	<i>Elección del proceso</i>	127
6.1.3.	<i>Composición del agua de alimentación</i>	128
6.1.4.	<i>Propiedades del agua de alimentación</i>	129
6.1.5.	<i>Sistema de regeneración</i>	129
6.1.6.	<i>Parámetros de la planta</i>	130
6.1.7.	<i>Requisitos del agua de salida</i>	131
6.1.8.	<i>Parámetros de la regeneración</i>	131
6.1.9.	<i>Selección de la resina DOWEX</i>	132
6.1.10.	<i>Parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico</i>	132
6.1.11.	<i>Evaluación de la resina aniónica</i>	133
6.1.12.	<i>Resultados obtenidos</i>	134
6.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	135
6.2.1.	<i>Introducción de los costes económicos</i>	135
6.2.2.	<i>Apertura del archivo “CADIX” del sistema diseñado</i>	135
6.2.3.	<i>Resultados de la evaluación económica</i>	136
7.	FUENTES DE INFORMACIÓN	138

1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es la realización de un manual en castellano que detalle el uso y manejo del software *CADIX* para la simulación de unidades de intercambio iónico, ya que actualmente carece de manual que explique su funcionamiento a los usuarios de dicho software.

Para ello ha sido necesario el manejo y comprensión de este programa, por lo que al objetivo antes mencionado hay que añadirle el de adquirir conocimientos en el manejo del programa *CADIX*, así como en la tecnología del intercambio iónico de forma general.

Por otra parte, el objetivo final es la realización del Proyecto Final de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Técnico Industrial especialidad en Química Industrial que oferta la Universidad de Zaragoza.

2. Introducción al intercambio iónico

2.1. Fundamento del intercambio iónico

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la adsorción. Implica la transferencia de materia fluido-sólido y consiste en una reacción reversible en la que uno o más iones se transfieren de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. Cuando el intercambiador haya cedido la mayoría de sus iones de sustitución, véase figura 2.1, se habrá saturado en los iones que haya adsorbido, cuando esto ocurre debe ser regenerado, de esta forma los iones de interés son intercambiados de nuevo por los iniciales.

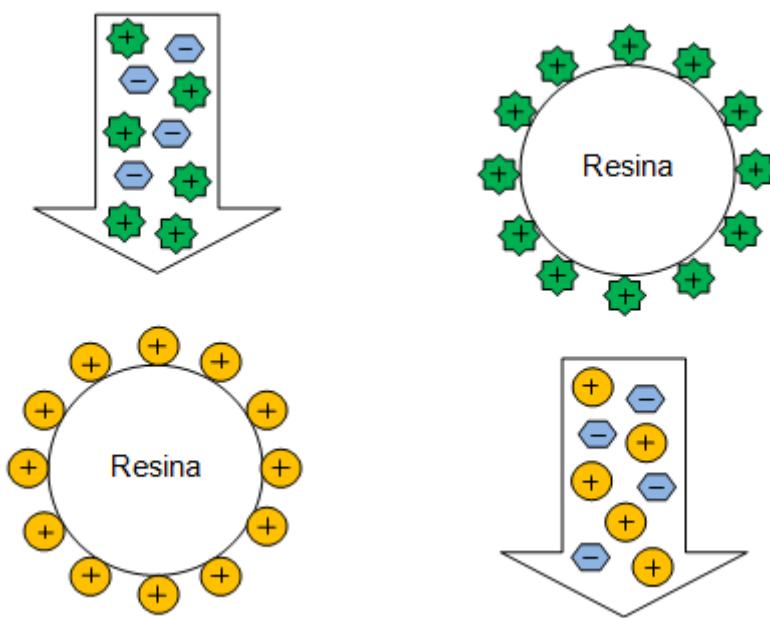


Figura 2.1: Intercambio iónico en una resina catiónica.

2.1.1. Características de un intercambiador iónico

Un intercambiador de iones, para poder utilizarse industrialmente, debe responder a las siguientes especificaciones:

- Su estructura química debe ser tal, que incluya en su molécula uno o varios radicales de función ácida o básica. La presencia de estos radicales hace que en el estudio de los fenómenos de intercambio puede equipararse una resina catiónica con un ácido de forma H-R y una resina aniónica con base de forma OH-R.
- El producto debe ser insoluble en las condiciones normales de empleo (esto se cumple a temperatura ambiente, pero a ciertas temperaturas altas, puede no cumplirse).
- El producto debe presentarse en granos de la mayor homogeneidad posible y de tales dimensiones que su pérdida de carga en filtración sea aceptable.
- La variación de los iones retenidos en el intercambiador no debe producir la degradación de su estructura física.

En el proceso de intercambio, el intercambiador puede fijar iones o complejos ionizados de dimensiones y pesos muy variables. En algunos casos esto da lugar a un aumento de volumen o a una contracción no despreciables. Esta hinchazón y contracción no debe ser causa de una rotura de los granos. Por otra parte, el diseño de los aparatos debe permitir esta expansión sin que produzcan compresiones demasiado fuertes en el seno del lecho intercambiador.

2.1.2. Proceso de intercambio iónico

La acción de intercambio iónico es una reacción reversible. Si se designa a la resina por R, se puede formular este proceso según la ecuación 2.1.



Dentro de la solución y del medio de intercambio iónico se debe mantener un balance de cargas (electronegatividad), es decir, un ión simple se intercambia por otro ión simple y, similarmente, un ión divalente necesitará dos iones monovalentes para realizar el intercambio.

2.1.3. Variables de interés

Capacidad de intercambio

Cantidad de iones que puede intercambiar en determinadas condiciones experimentales el material de intercambio iónico para un peso o volumen determinados de éste.

Se expresa en
$$\frac{\text{equivalentes-gramo}}{\text{litros de resina}}$$

Hay que distinguir entre capacidad total o teórica que es la masa total de iones intercambiables y que caracteriza a una resina dada y capacidad útil o aparente que es la fracción utilizable en función de las condiciones hidráulicas y químicas de cada caso en particular, es decir es un valor práctico que indica cuantos iones de la solución pueden ser captados realmente bajo las condiciones específicas de operación.

Selectividad

Propiedad de los intercambiadores iónicos por la que un intercambiador muestra mayor afinidad por un ion que por otro. La selectividad de una resina por un ion determinado se mide con el coeficiente de selectividad k.

La selectividad depende de las interacciones electroestáticas que se establezcan entre el ion y el intercambiador y de la formación de enlaces con el grupo ionogénico. Un intercambiador preferirá aquellos iones con los que forme los enlaces más fuertes.

También influye la estructura de poro y la elasticidad del intercambiador. Su estructura de poro rígida les permite actuar como tamices moleculares, impidiendo la entrada de ciertos iones por su tamaño.

Carga volúmica

Se define como la relación

$$\frac{\text{caudal volumétrico de líquido}}{\text{volumen de resina}} \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^3}$$

Flujo de iones

Indica los equivalentes intercambiados por unidad de tiempo y unidad de volumen.

Dosis de regeneración

Masa de reactivo utilizada para regenerar la unidad de volumen de cambiador de iones en gramos/litro.

Rendimiento de regeneración

Relación entre los equivalentes-gramos de reactivo regenerante empleado y los equivalentes-gramo de reactivo que corresponden estequiométricamente a los iones intercambiados.

2.2. Tipos de intercambiadores iónicos

Según su composición química, los intercambiadores iónicos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos y, según su origen, en naturales y sintéticos. Las resinas más habituales son orgánicas y sintéticas como por ejemplo polímeros de estireno y divinil-benceno (DVB) donde el DVB supone entre un 8 y 12%.

Una resina consta de una estructura polimérica entrecruzada de la cual pueden grupos intercambiadores de iones, cargados negativamente en las membranas de intercambio catiónico y positivamente en las de intercambio aniónico. El entrecruzamiento es necesario para evitar que los polímeros se disuelvan en agua.

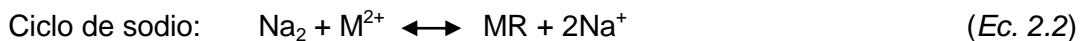
El tipo de grupo funcional determina la selectividad iónica y la posición de equilibrio de intercambio. Existen dos tipos básicos de intercambiadores iónicos: catiónicos y aniónicos. Éstos a su vez pueden ser fuertes o débiles. La diferencia más importante es que las resinas fuertes operan a cualquier pH, pero tienen una capacidad más limitada que las débiles y deben regenerarse más frecuentemente. En cambio, las resinas de carácter débil, además de mayor capacidad, se regeneran casi

estequiométricamente, es decir, con un exceso mínimo de regenerante, pero operan dentro de pH limitados y no captan todos los iones.

2.2.1. Intercambiadores catiónicos

Están caracterizados por la presencia en su molécula de radicales de función ácida, sulfónica o carboxílica tipo HSO_3 , HCO_2 , capaces de fijar cationes minerales y orgánicos o más complejos como ácido amino fosfórico $\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{PO}_3$.

Estos intercambiadores separan los cationes de una solución (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , ...) cambiándolos por iones sodio (ciclo de sodio) o por iones hidrógeno (ciclo de hidrógeno). La separación se representa en las ecuaciones 2.2 y 2.3, donde R indica la resina y M^{2+} el catión.



Los intercambiadores catiónicos puedes ser fuertes o débiles:

- *Resinas catiónicas fuertes (CF):* Se caracterizan por tener radicales sulfónicos (HSO_3) y tener una acidez próxima a la del calcio sulfónico. Son capaces de eliminar todos los cationes del agua. Presentan una máxima selectividad para cationes trivalente, intermedia para divalentes e inferior para monovalentes. Se emplea en el ablandamiento en el ciclo del sodio y en la desmineralización en el ciclo del hidrógeno. La velocidad de intercambio es rápida y da poca fuga iónica. Son resinas estables y pueden durar hasta 20 años o más. Aguantan temperaturas altas de más de 100 °C.

- *Resinas catiónicas débiles (CD):* Están caracterizadas por la presencia de radicales carboxílicos (HCO_2) y acidez equivalente a la de los ácidos orgánicos de tipo fórmico o acético. Captan el calcio y el magnesio de la alcalinidad bicarbonatada, liberando ácido carbónico (resinas de hidrógeno), que se puede eliminar de forma simple y barata por desgasificación mediante aireación. No puede intercambiar los cationes en equilibrio con iones sulfato, cloruro o nitrato. No opera a pH menor de 7, necesitando una acción tamponante. Su capacidad es aproximadamente el doble de la catiónica fuerte y, aunque su fuga de calcio es baja, es alta en sodio. Incluso se puede

emplear un regenerante en exceso de ácido usado en la regeneración de la catiónica fuerte. Son más resistentes a los oxidantes como el cloro.

2.2.2. Intercambiadores aniónicos

Sus moléculas que contienen radicales de función básica, por ejemplo funciones de amina terciaria ($-\text{NR}_2$) o amonio cuaternario ($-\text{NR}_3^+$), capaces de fijar aniones minerales y orgánicos.

Estos intercambiadores separan aniones de una disolución intercambiándolos por iones OH^- , eliminando de esta forma sulfatos, cromatos, etc. La separación viene representada por la ecuación 2.4, donde A^{2-} representa un anión.



De la misma forma que las resinas catiónicas, los intercambiadores aniónicos pueden subdividirse en:

- *Resinas aniónicas fuertes (AF):* Se caracterizan por tener grupos de amonio cuaternario. Son capaces de eliminar todos los aniones de ácidos débiles o fuertes operando a cualquier pH. Su selectividad para los aniones divalentes es superior a los monovalentes. Son menos estables que las homólogas catiónicas, su duración es bastante inferior y resisten temperaturas límites inferiores (35 a 60°C). Absorben irreversiblemente los ácidos húmicos de descomposición vegetal, perdiendo capacidad. Para su protección se puede usar una columna previa de resina aniónica débil o de carbón activo.
- *Resinas aniónicas débiles (AD):* Poseen una mezcla de aminas primarias, secundarias, terciarias y, a veces, cuaternarias. Eliminan los aniones de los ácidos fuertes (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^{2-}), pero no los de ácidos débiles (carbonato, bicarbonato,...) y no funcionan a pH superior a 6. Su capacidad es doble de las aniónicas fuertes y resisten el ensuciamiento orgánico.

2.3. Regeneración

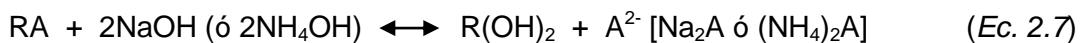
Cuando la capacidad de intercambio de la resina se agota, la resina debe regenerarse. La regeneración va precedida de un fuerte lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólidos, provocando la expansión del lecho para dejar sueltas las partículas de resina y asegurar su limpieza. Las velocidades de paso del agua lavado son de 6 a 8 m/h para las resina aniónicas y de 10 a 18 m/h para las catiónicas. La duración es de 10 a 15 minutos.

La regeneración consiste en el paso a través de la columna de una solución. El lavado de las catiónicas se realiza con una solución de salmuera (sosa diluida), con agua descationizada para evitar la precipitación de carbonatos o hidróxidos (ciclo del sodio) o de una solución ácida, normalmente H_2SO_4 o HCl (ciclo del hidrógeno). Las velocidades de paso son de 2 a 5 m/h para las resinas fuertes y de 2 a 8 m/h para las débiles.

Las reacciones de regeneración de los ciclos del sodio y del hidrógeno son las ecuaciones 2.5 y 2.6:



La regeneración de las resinas aniónicas se hace normalmente usando hidróxido de sodio y de amonio. La reacción de regeneración está representada en la ecuación 2.7.



Por último, se realiza un aclarado para desplazar el regenerante residual. Un primer desplazamiento lento se consigue dejando pasar, a continuación de la regeneración, sólo agua de dilución del reactivo, antes de entrar el agua propiamente de lavado. Los volúmenes de agua de lavado (agua desionizada) necesarios son superiores para las resinas aniónicas, con una duración de lavado de 30 a 60 minutos a los caudales de servicio. Para la misma duración en el lavado de resinas catiónicas, los caudales serán del orden de la mitad de los de servicio.

Es importante considerar que los vertidos de la regeneración son corrosivos y, en general, aún después de mezclados, se precisará una neutralización previa al envío del efluente como vertido.

La regeneración de un lecho mixto es algo más complicada. En el proceso de lavado debe conseguirse una buena separación de los dos tipos de resinas, quedando la aniónica, más ligera, en la capa superior y la catiónica, más pesada, en la parte inferior con una separación bien definida. La línea de separación debe coincidir con un colector dispuesto en esta zona intermedia. El álcali de regeneración es introducido por el distribuidor superior, pasa a través de la resina aniónica y sale por el colector intermedio. Simultáneamente, se evita la contaminación de la resina catiónica bloqueando el álcali con una corriente de agua que circula desde el distribuidor interior al colector intermedio. La regeneración de la resina catiónica es menos problemática y se realiza con la corriente de ácido circulante desde el distribuidor interior al colector intermedio.

2.3.1. Métodos de regeneración

La regeneración se efectúa filtrando una solución de iones (A^+) ya sea en el mismo sentido que la saturación (regeneración en sentido de la corriente) o en sentido contrario (regeneración en contracorriente).

- *Regeneración en el sentido de la corriente:* durante esta operación, una solución concentrada de iones A^+ se pone, en primer lugar, en contacto con capas del intercambiador de iones saturado de iones B^+ que van eliminándose de la resina. A continuación, éstos iones B^+ se transportan hacia capas inferiores del intercambiador de iones que se encuentran en un estado de menos saturación, volviendo a encontrar entonces unas condiciones favorables por su fijación, por lo tanto, son iones A^+ los que se eluyen de la columna. Si se limitara la cantidad de regenerante, los iones B^+ no se eluirían totalmente del intercambiador y las capas inferiores no se regenerarían correctamente.
- *Regeneración en contracorriente:* en este caso, los iones A^+ concentrados encuentran primeramente capas de resina poco concentradas en iones B^+ , cuya elución, por lo tanto, tiene lugar en buenas condiciones, además, en las capas superiores los iones B^+ no pueden volver a fijarse.

La regeneración se efectúa, por tanto, en condiciones mucho más reversibles para la regeneración a contracorriente, lo que termodinámicamente corresponde a un mejor rendimiento.

Deben destacarse dos ventajas importantes en el caso de la regeneración a contracorriente:

- Mejora del rendimiento y por consiguiente disminución de los consumos de reactivos, a igualdad de cantidad.
- Mejora de la calidad del agua tratada, regenerándose las capas de salida con un fuerte exceso de reactivo.

2.4. Aplicaciones

Además de su clásica aplicación en tratamiento de aguas, la tecnología de intercambio iónico se aplica a distintos procesos dentro de la industria, como purificación, catálisis, recuperación de metales valiosos, etc. A continuación se describen brevemente estas áreas de aplicación de los intercambiadores iónicos.

2.4.1. Tratamiento de aguas

2.4.1.1. Eliminación de la dureza del agua

En las aguas naturales, están presentes el calcio y el magnesio que son dos de los iones más comunes en estas aguas. Estos cationes divalentes, cuando se encuentran en altas concentraciones, son los responsables de la dureza del agua.

El empleo de agua dura tanto para usos domésticos como industriales, provoca problemas de formación de depósitos e incrustaciones y dificulta la acción de los detergentes, ya que se forman espumas y precipitados que reducen su eficiencia.

Las zeolitas se utilizan en la eliminación de la dureza de aguas domésticas e industriales por su capacidad de intercambiar los iones calcio y magnesio presentes en el agua por iones sodio alojados en su estructura. Por esta misma razón, estos

minerales han reemplazado a los fosfatos en la composición de los detergentes, precisamente para mejorar su efectividad al secuestrar los iones calcio y magnesio del agua. El 80% de la producción de zeolitas se emplea en esta aplicación. Además, el uso de zeolitas naturales tiene la ventaja de ser compatible con medidas de protección del medio ambiente.

En la eliminación de la dureza del agua también se emplean intercambiadores iónicos más versátiles como carbón sulfonado, resinas sulfonadas de fenol-formaldehido y, en los últimos años resinas de poliestireno sulfonado. En las aguas naturales también hay una pequeña fracción de iones hierro y manganeso, cuya presencia es indeseable ya que pueden manchar los tejidos, formar depósitos en tuberías, tanques u otros elementos, así como inducir su corrosión. Estos iones pueden eliminarse mediante intercambio iónico, pero este proceso tiene ciertas limitaciones ya que ambos iones pueden precipitar en la superficie de la resina.

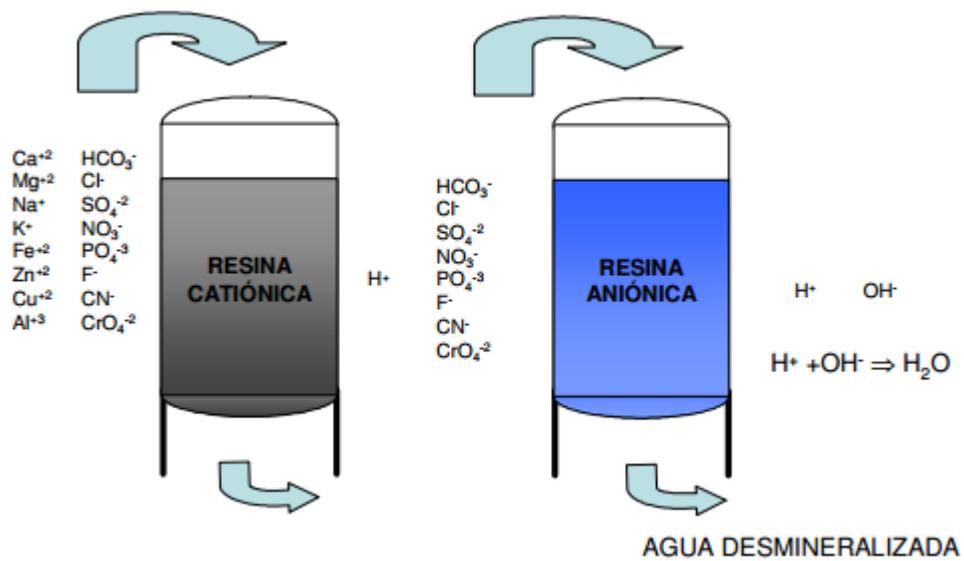


Figura 2.2: Desmineralización del agua

2.4.1.2. Alcalinidad del agua

En el agua también se encuentran distintos aniones como bicarbonato, carbonato, hidróxidos, cloruro, sulfato, fluoruro, fosfatos etc. Los tres primeros son los responsables de la alcalinidad del agua, que no es más que la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos. Es decir, un agua altamente alcalina será capaz de aceptar

muchos iones hidrógeno antes de que su pH empiece a descender. La alcalinidad se expresa en términos de mg/L de carbonato de calcio.

El agua altamente alcalina tiene un sabor amargo. En la industria, la alcalinidad es un problema cuando se emplea agua hirviendo, ya que el vapor de agua es rico en CO₂ que al condensar forma ácido carbónico capaz de atacar el metal de las conducciones.

Para eliminar los aniones responsables de la alcalinidad del agua se utilizan resinas aniónicas de intercambio, generalmente en forma de cloruro, de modo que se intercambian los aniones del agua por el cloruro de la resina. Otro proceso posible es emplear una resina débilmente ácida.

2.4.1.3. *Eliminación de materia orgánica*

Es habitual encontrar en aguas superficiales cierta cantidad de ácidos orgánicos, como ácidos húmicos o taninos. La presencia de esta materia orgánica en el agua para uso doméstico puede conferirle olor, color y un sabor desagradable, pero el interés en eliminar estos compuestos radica en su tendencia a convertirse en trihalometanos cuando se procede a la cloración del agua. Estas sustancias pueden eliminarse empleando resinas aniónicas de intercambio en forma de cloruro, especialmente resinas acrílicas.

2.4.1.4. *Eliminación de nitratos*

El uso excesivo de fertilizantes, el estiércol y los efluentes procedentes de explotaciones ganaderas son los responsables de la contaminación del agua por el anión nitrato NO₃. La presencia de cantidades elevadas de este anión en el agua potable pueden provocar graves problemas en bebés menores de 6 meses (síndrome del niño azul).

La eliminación de este anión se puede realizar mediante resinas de intercambio aniónico en forma de cloruro.

2.4.1.5. *Eliminación del ion amonio*

Las aguas residuales vertidas por industrias, redes de alcantarillado y producidas en procesos agrícolas y ganaderos son las responsables de la presencia del ion amonio en lagos, ríos y, a la larga, en pozos de agua potable. La presencia de amonio en el agua reduce la concentración de oxígeno disuelto necesario para la vida acuática y acelera la corrosión de metales y materiales de construcción.

Para la eliminación de amonio mediante intercambio iónico, además de las resinas catiónicas convencionales, se emplean también intercambiadores iónicos inorgánicos. Las zeolitas, por su selectividad a este catión, son el material de elección en la fabricación de filtros para eliminar amonio del agua, tanto en piscifactorías como en acuarios.

2.4.1.6. *Desionización del agua*

El agua desionizada es un ingrediente esencial en aplicaciones médicas, laboratorios, en la industria farmacéutica, cosméticos, microelectrónica, etc.

El proceso de desionización del agua consiste en reducir la concentración de iones presentes en ella a niveles muy bajos, proceso que puede llevarse a cabo mediante intercambio iónico.

En este proceso se emplea una resina catiónica de intercambio para eliminar los cationes (sodio, calcio, magnesio, etc.) y dos resinas aniónicas, una básica débil que absorberá los ácidos fuertes y otra básica fuerte para intercambiar los aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato etc.)

Como la concentración de iones en el agua determina su capacidad de conducir la electricidad, la efectividad del proceso de ionización se determina midiendo los parámetros resistividad o conductividad.

2.4.2. Residuos nucleares

Los intercambiadores iónicos encuentran su aplicación en la industria de la energía nuclear en varias de las etapas del ciclo de obtención del combustible nuclear, en el tratamiento de efluentes contaminados con elementos radioactivos y en la purificación del agua de refrigeración del núcleo. En estos procesos los intercambiadores se contaminan con elementos radioactivos y, por tanto, deben considerarse y tratarse como un residuo radioactivo más. De hecho, las resinas de intercambio que se emplean en el tratamiento de agua de refrigeración son la segunda fuente de residuos radioactivos de una central nuclear.

Generalmente se emplean resinas de intercambio orgánicas, pero los intercambiadores inorgánicos están siendo objeto de estudio y aplicación en varios de estos procesos ya que los primeros tienden a degradarse en las condiciones térmicas y químicas de operación así como por la radiación, que afecta a los enlaces carbono-carbono de la matriz polimérica.

2.4.3. Aplicaciones en la industria alimentaria

La tecnología de intercambio iónico se emplea en muchos procesos de la industria alimentaria. Además de las aplicaciones ya comentadas como la purificación del agua (proceso esencial en la industria de la cerveza), los intercambiadores iónicos se utilizan para desmineralizar líquidos azucarados y jarabes, controlar la acidez, olor, color, sabor y contenido en sal del alimento y también para aislar o purificar un aditivo o un componente del alimento.

2.4.4. Aplicaciones en la industria farmacéutica

Los intercambiadores iónicos y resinas adsorbentes se utilizan ampliamente en la industria farmacéutica en aplicaciones muy diversas que pueden agruparse en las siguientes categorías.

- Se emplean resinas de intercambio en la recuperación y purificación de diversos productos, como antibióticos, vitaminas, enzimas, proteínas. Este

proceso sustituye a la tecnología tradicional, que utilizaba la extracción con disolventes.

- Como excipientes en la formulación de fármacos, para enmascarar el mal sabor del principio activo, estabilizar el fármaco y acelerar la desintegración de la pastilla después de su ingestión.
- Dosificación controlada de fármacos: El intercambiador iónico libera lentamente el fármaco alojado en su matriz polimérica.
- Algunas resinas de intercambio iónico han demostrado tener actividad terapéutica, y se aplican en la reducción de colesterol en sangre, para adsorber sales biliares, etc.

2.4.5. Catálisis

Un catalizador es una sustancia capaz de acelerar la velocidad de una reacción química sin sufrir ningún cambio químico permanente y pudiendo recuperarse al final de la reacción. Catalizar un proceso es de vital importancia en la industria química, donde se aplican desde catalizadores heterogéneos en la forma de sólidos porosos hasta catalizadores homogéneos que se disuelven en la mezcla de reacción.

Los intercambiadores iónicos se aplican como catalizadores heterogéneos en muchas reacciones químicas, ya que tienen la ventaja sobre la catálisis homogénea no sólo que se consiguen mejores rendimientos de reacción, sino también que se separan del medio con una simple filtración. Ejemplos de reacciones son hidrólisis, esterificación, formación de amidas, condensaciones, entre otros.

Es importante destacar el papel de las zeolitas como catalizadores. Las zeolitas ácidas, que contienen iones hidrógeno en su estructura, catalizan muchas reacciones químicas, como el craqueo del crudo, isomerización y síntesis de combustible. También se utilizan como catalizadores en procesos de oxidación-reducción, una vez se ha introducido en su estructura un metal determinado. La particular estructura de poro de las zeolitas, que varían en forma y tamaño, es determinante en su actuación como catalizador ya que introduce una limitación estérica al acceso de los reactivos a los sitios activos.

2.4.6. Agricultura

El fenómeno de intercambio iónico es básico en la agricultura, ya que tiene un importante papel en la absorción de nutrientes por parte de las plantas. De hecho, el suelo es un gran sistema intercambiador de iones, con capacidad para calcio, magnesio, potasio, amonio, nitratos y fosfatos.

Las zeolitas se han aplicado para controlar la liberación de nutrientes al suelo agrícola, ya que tienen la ventaja que sustituyen a los fertilizantes solubles que pueden contaminar el agua y además que impiden la pérdida de nutrientes por disolución. También se emplean para retener la humedad del suelo y para elevar el pH en suelos ácidos.

2.4.7. Hidrometalurgia

Los procesos de intercambio iónico se aplican en hidrometalurgia en la recuperación y concentración de metales valiosos, como cobre, uranio y cromo, así como en procesos especiales que emplean resinas de intercambio iónico selectivas para la recuperación de oro, platino y plata.

El empleo de resinas de intercambio iónico es una posible solución al tratamiento de efluentes procedentes de la industria de refinado de metales. La acumulación de metales pesados en el medio ambiente es un serio problema para la salud debido a su alta toxicidad, su capacidad de acumularse en los tejidos y, además, que no son biodegradables. Esta situación ha generado una serie de regulaciones en cuanto a emisiones de metales tóxicos al entorno, que han obligado a la industria a conceder una gran importancia al control de sus efluentes.

En esta área de aplicación, las resinas orgánicas de intercambio iónico son las predominantes, pero se encuentran muchos ejemplos de empleo de zeolitas naturales y sintéticas en el tratamiento de efluentes contaminados, así como de biomateriales basados en chitosan o alginato.

2.5. Equipos de intercambio iónico

Un intercambiador de iones de lecho fijo consiste en un recipiente cilíndrico vertical de acero revestido o acero inoxidable. Los revestimientos son normalmente de caucho natural o sintético. Se disponen rociadores en la parte superior y en el fondo y, frecuentemente, se emplea un distribuidor separado para la solución regenerante. Para la desionización, la configuración común contiene un conjunto intercambiador doble comprendiendo un intercambiador catiónico y otro aniónico, como se muestra en la figura 2.3.

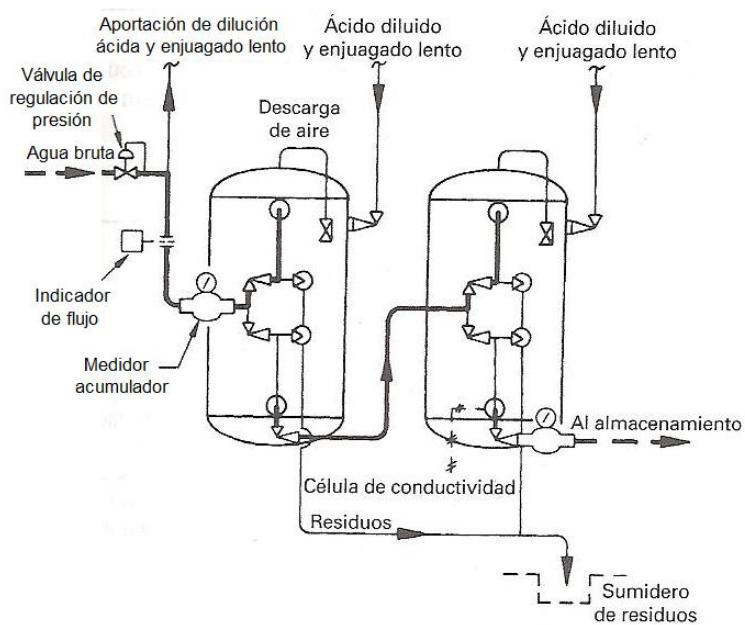


Figura 2.3: Sistema característico de desionización con dos lechos.

La columna dispone de elementos diseñados para permitir la regeneración en contracorriente, con flujo ascendente de las resinas de intercambio iónico. Un ejemplo se encuentra en la figura 2.4. Durante el flujo ascendente del regenerante se evita la expansión del lecho retirando el efluente mediante la aplicación de vacío. Se forma una capa de partículas exentas de líquido en la parte superior del lecho mientras el resto de la columna funciona de la manera habitual.

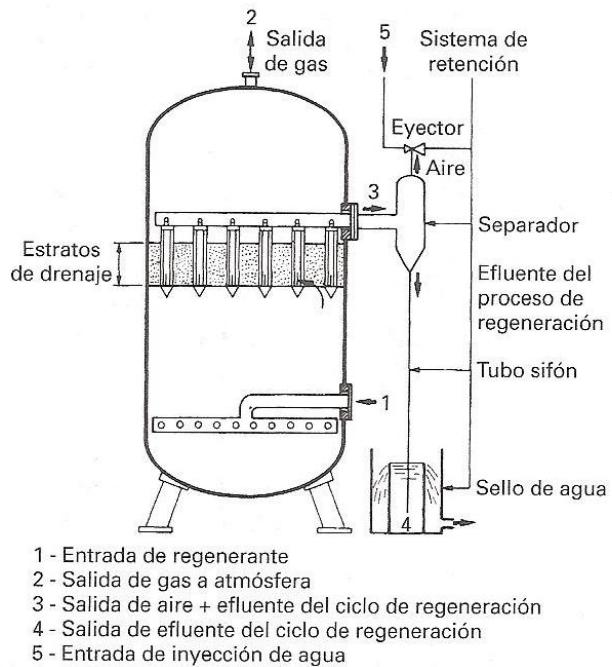


Figura 2.4: Elementos de una unidad de regeneración de flujo ascendente.

Para aplicaciones a gran escala también se hallan disponibles un número de unidades de intercambio iónico que operan en continuo o semicontinuo. El contactor Higgins, mostrado en la figura 2.5, se desarrolló originalmente para recuperar uranio de lodos lixiviados. Más recientemente se ha adaptado a una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el ablandamiento de grandes volúmenes de agua.

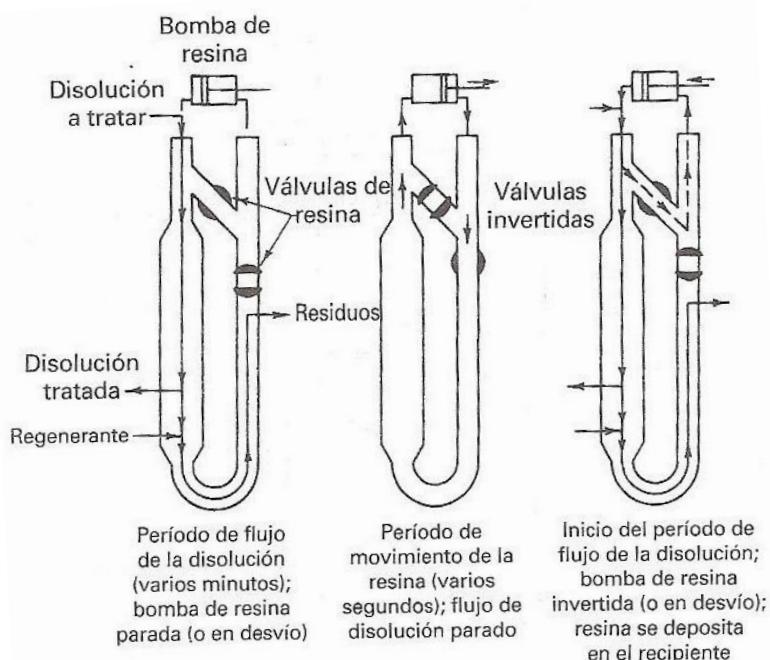


Figura 2.5: Modo de operación del contactor de Higgins.

El proceso Asahi, figura 2.6, se emplea principalmente para el tratamiento de grandes volúmenes de agua. El líquido que debe tratarse se pasa en sentido ascendente a través de un lecho de resina en el tanque de adsorción. El flujo ascendente mantiene el lecho lleno contra la parte superior. Después de un tiempo prefijado, de 10 a 60 minutos, se interrumpe el flujo durante aproximadamente 30 segundos, permitiendo que el lecho entero caiga. Una pequeña porción de la resina de intercambio iónico se separe por el fondo del tanque de adsorción y se transfiera hidráulicamente a la tolva que alimenta al tanque de regeneración. El proceso se reanuda a continuación. Mientras tanto, se desarrolla la regeneración por un sistema similar de flujo en el tanque de regeneración, desde el cual el intercambiador iónico regenerado se transfiere periódicamente a la tolva situada encima del tanque de enjuagado con agua. En este último, las partículas de resina se fluidifican para expulsar finos y materia extraña acumulada antes de que la resina retorne al tanque de adsorción.

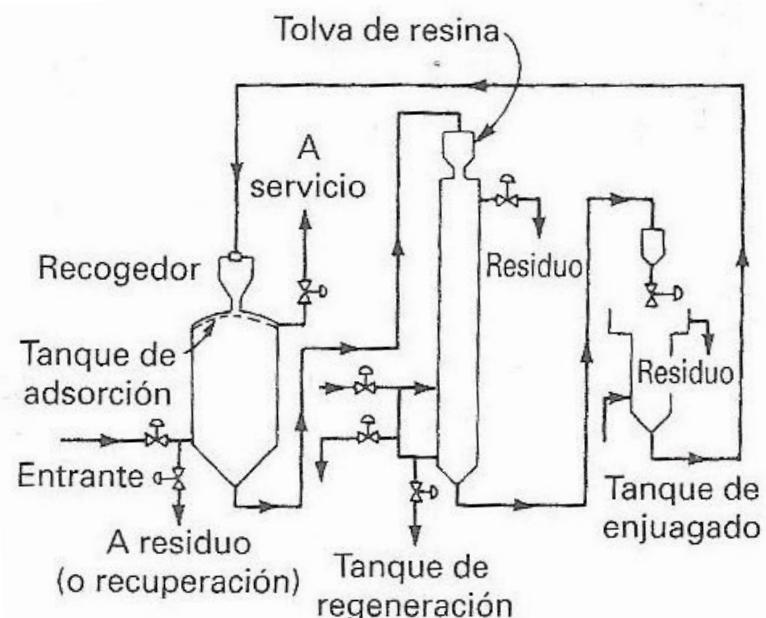


Figura 2.6: Proceso de intercambio iónico en contracorriente Asahi.

Otro sistema de intercambio iónico en continuo lo describe Himsley y Farkas, ver figura 2.7. Se emplea para tratar $1.590 \text{ m}^3/\text{h}$ (7.000 gal/min) de un licor lixiviado de cobre que contiene uranio utilizando columnas construidas con fibra de vidrio de 3,7 m (12 ft) de diámetro. La columna de adsorción está dividida verticalmente en pisos. Se transfieren en continuo cargas de resina de piso a piso sin ninguna interrupción del flujo. Esto se consigue bombeando disolución de un piso (A) a un piso inmediatamente

superior (B), por medio de un bombeo externo, de tal manera que el flujo neto a través del piso B tiene sentido descendente, trasportando con él toda la resina de ese piso B. Cuando se completa la transferencia del intercambiador de iones, la resina del piso C superior se transfiere hacia debajo de forma similar. El proceso continúa hasta que el último piso (F) se vacía. Entonces la resina regenerada se transfiere desde la columna de elución al piso vacío (F). La elución del producto sorbido se desarrolla fuera en la columna de elución por el modo de lecho relleno móvil. El contacto en contracorriente alcanzado en esta columna da lugar un eluato concentrado, es decir, una solución o sustancia obtenida por un proceso de elución, con un consumo mínimo de regenerante.

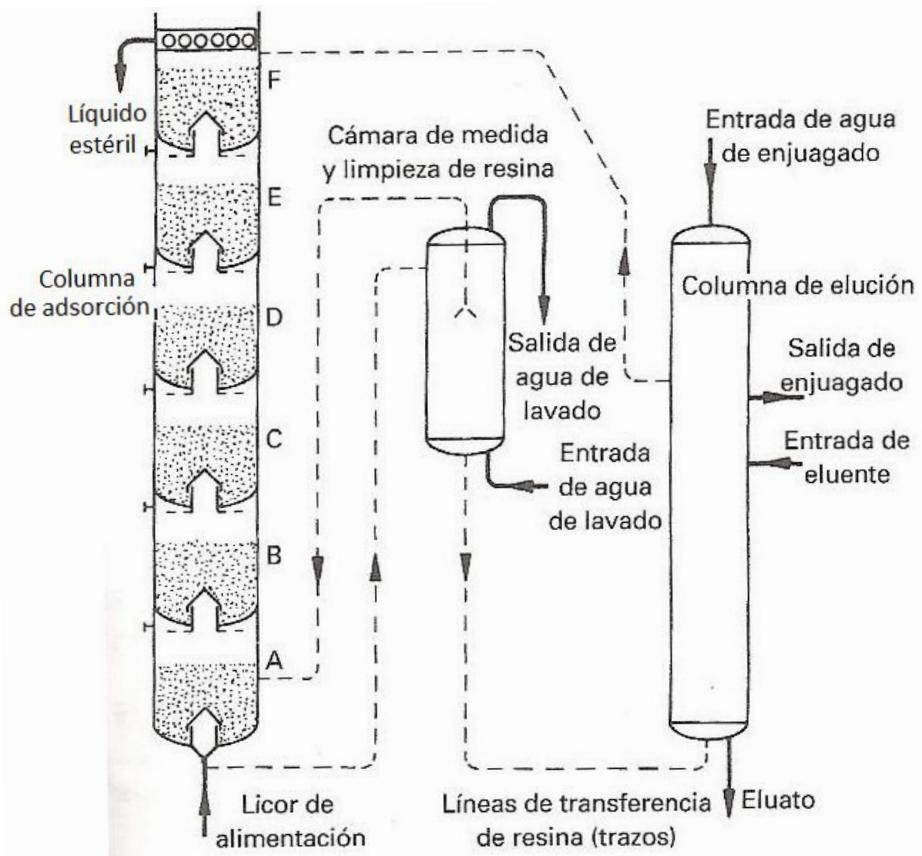


Figura 2.7: Sistema de intercambio iónico continuo Himsley.

Las desventajas de estos sistemas continuos en contracorriente se asocian primariamente con la complejidad del equipo requerido y con el desgaste resultante del transporte del intercambiador iónico.

3. Dow Chemical

Dow Chemical Company es una de las mayores compañías químicas del mundo. Tiene su central ubicada en Midland, Michigan (EEUU), y es una corporación multinacional que cuenta con 50.000 empleados repartidos en 188 plantas situadas en 35 países.



Figura 3.1: Logo de Dow Chemical

Dow Chemical fue creada por Herbert Dow en 1897. Al principio la empresa se dedicaba solo a la producción industrial de lejía y de bromuro de potasio a partir de salmuera. Desde entonces ha ido ampliando su gama de productos hasta la que tienen hoy en día. Actualmente la compañía está dividida en ocho grupos, cada uno de ellos dedicado a una rama específica de investigación y producción:

- *Materiales*: se especializan en la investigación de materiales, especialmente en nuevos materiales electrónicos.
- *Revestimientos e infraestructura*: dedicado a los materiales de recubrimiento, construcción, polímeros adhesivos...
- *Ciencias de la salud y la agricultura*: se dedica mayoritariamente a la investigación y producción industrial de productos químicos.
- *Sistemas de alto rendimiento*: se centra, entre otras funciones, en productos elastómeros y en sistemas de automoción.
- *Productos de alto rendimiento*: especializado en la investigación y producción industrial de un gran número de productos químicos: aminas, resinas epoxi, disolventes, monómeros, poliglicoles...
- *Plásticos*: se dedica a la investigación y producción de polímeros plásticos, sobretodo polietileno, poliestireno, poliuretanos y polipropileno.

- *Químicos y energía*: representa una importante fracción de Dow Chemical, y se especializa en la industria del cloro-álcali, del cloro-vinilo, procesos de obtención y aprovechamiento energéticos, la producción industrial de etilenglicol, de óxido de etileno, y de todo tipo de compuestos organoclorados.
- *Hidrocarburos*: se centra en los procesos relacionados con el procesamiento y refino de todo tipo de hidrocarburos.

Dow Chemical combina la producción industrial a gran escala con la investigación en nuevos productos y materiales.

La compañía también se dedica a la investigación y puesta en marcha de instalaciones para la purificación de agua para el uso humano, “Dow Water & Process Solution Business” se encarga de ello. La investigación en purificación de agua se centra tanto en la ósmosis inversa como en el intercambio iónico. La marca comercial de las resinas de intercambio iónico creada por Dow es DOWTEX™.

Dow Chemical está dividida en diferentes filiales repartidas por todo el mundo. La filial “Dow Ibérica” administra las plantas e instalaciones de la compañía en España y Portugal, donde se producen y suministran productos químicos, desde agua potable, alimentos y medicamentos, hasta pinturas, material de embalaje y productos para la salud e higiene personal.

Dow Ibérica posee una sede social y de ventas en Madrid, así como tres centros de producción mostrados en la figura 3.2.

- *Tarragona*: producción de polílicos, polioles, polipropileno, y diversos copolímeros de etileno utilizados principalmente para embalajes, sellantes y aplicaciones médicas.
- *Ribaforada (Navarra)*: producción de polioles formulados y prepolímeros para el mercado de España y Portugal.
- *Estarreja (Portugal)*: esta planta se dedica principalmente a la producción de isocianatos poliméricos, utilizados en la producción de espumas de poliuretano, que son ampliamente utilizadas en industrias como la de la construcción, la automoción o del calzado. Desde 2003, también se fabrica STYROFOAM™, la marca registrada de Dow Chemical para las placas rígidas de poliestireno extraído, muy utilizadas en el aislamiento térmico para construcción civil.



Figura 3.2: Centros de producción de Dow Ibérica

4. El programa CADIX

El programa CADIX (“Computer Assitent Design for Ion eXchange”) cuya traducción es “diseño asistido por ordenador de intercambio iónico”, es una herramienta de ingeniería sobre intercambio iónico para el diseño de nuevos sistemas de tratamiento de agua y la evaluación del rendimiento de una planta ya existente con resinas DOWEX™ de intercambio iónico.

CADIX permite el diseño de una amplia gama de aplicaciones para sistemas de regeneración en flujo paralelo y en contracorriente. Es un programa fácil de usar, pero asume que el usuario tiene algún conocimiento sobre la tecnología de resinas de intercambio iónico y su terminología.

4.1. Descarga e instalación de CADIX

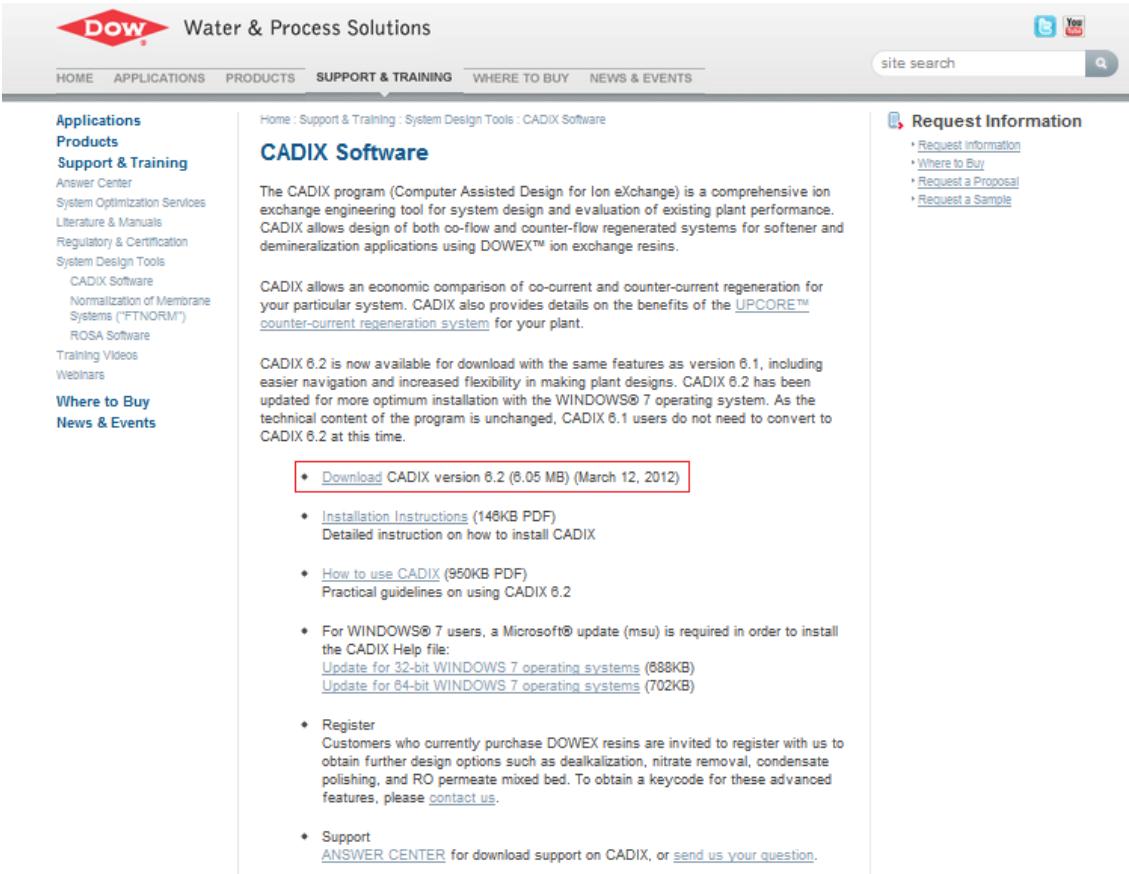
Para el uso del programa CADIX es necesario su descarga e instalación previa. En este apartado se explicarán los pasos a seguir para poder usar el programa.

4.1.1. Descarga

Lo primero que hay que hacer es descargarse el programa CADIX, para ello hay que meterse en la página siguiente:

http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/cadix.htm

En dicha página web, hay que pinchar en “Download” para poder descargar el archivo de instalación, como se muestra en la figura 4.1.



The screenshot shows the Dow Water & Process Solutions website. The top navigation bar includes links for HOME, APPLICATIONS, PRODUCTS, SUPPORT & TRAINING (which is the active page), WHERE TO BUY, and NEWS & EVENTS. A search bar and social media links (Twitter and YouTube) are also present. The left sidebar has sections for Applications, Products, Support & Training, Answer Center, System Optimization Services, Literature & Manuals, Regulatory & Certification, System Design Tools, CADIX Software, Normalization of Membrane Systems ("FTNORM"), ROSA Software, Training Videos, Webinars, Where to Buy, and News & Events. The main content area shows the CADIX Software page with a breadcrumb trail: Home > Support & Training > System Design Tools > CADIX Software. It includes a brief description of the CADIX program, a section on CADIX 6.2, and a list of download links and support options.

CADIX Software

The CADIX program (Computer Assisted Design for Ion eXchange) is a comprehensive ion exchange engineering tool for system design and evaluation of existing plant performance. CADIX allows design of both co-flow and counter-flow regenerated systems for softener and demineralization applications using DOWEX™ ion exchange resins.

CADIX allows an economic comparison of co-current and counter-current regeneration for your particular system. CADIX also provides details on the benefits of the [UPCORE™ counter-current regeneration system](#) for your plant.

CADIX 6.2 is now available for download with the same features as version 6.1, including easier navigation and increased flexibility in making plant designs. CADIX 6.2 has been updated for more optimum installation with the WINDOWS® 7 operating system. As the technical content of the program is unchanged, CADIX 6.1 users do not need to convert to CADIX 6.2 at this time.

- [Download CADIX version 6.2 \(6.05 MB\) \(March 12, 2012\)](#)
- [Installation Instructions \(146KB PDF\)](#)
Detailed instruction on how to install CADIX
- [How to use CADIX \(950KB PDF\)](#)
Practical guidelines on using CADIX 6.2
- For WINDOWS® 7 users, a Microsoft® update (msu) is required in order to install the CADIX Help file:
[Update for 32-bit WINDOWS 7 operating systems \(688KB\)](#)
[Update for 64-bit WINDOWS 7 operating systems \(702KB\)](#)
- Register
Customers who currently purchase DOWEX resins are invited to register with us to obtain further design options such as dealkalization, nitrate removal, condensate polishing, and RO permeate mixed bed. To obtain a keycode for these advanced features, please [contact us](#).
- Support
[ANSWER CENTER](#) for download support on CADIX, or [send us your question](#).

Figura 4.1: Página de descarga de CADIX

4.1.2. Instalación

Una vez descargado el programa CADIX, se va a proceder a instalarlo. Para ello hay que abrir el archivo descargado “CADIX620” de la carpeta donde se guarden las descargas. En caso de que aparezca el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.2, hay que darle a “Ejecutar”.

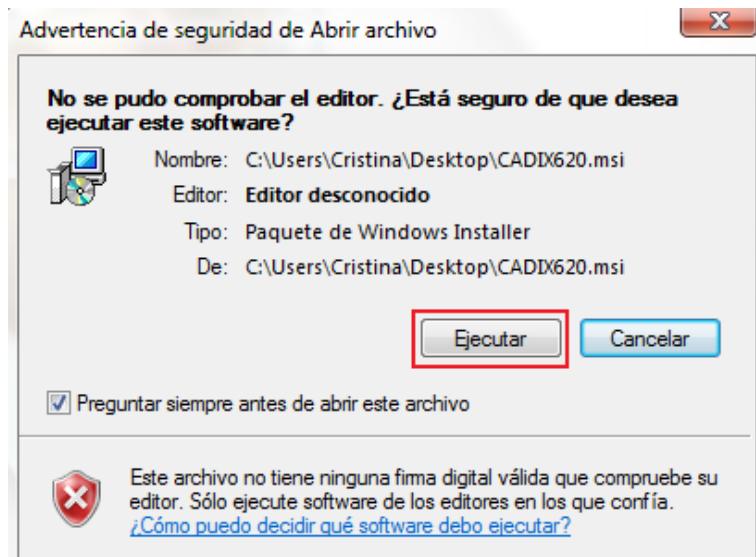


Figura 4.2: Advertencia de seguridad

Para comenzar con la instalación se debe pulsar el botón donde pone “Next” mostrado en la figura 4.3 para continuar con la instalación.



Figura 4.3: Ventana de bienvenida a la instalación

En el siguiente cuadro de dialogo que aparece en la figura 4.4, se pide poner el nombre completo en “Full Name” y seguido la organización en “Organization”, ambas dos no son obligatorias rellenarlas, se pueden dejar en blanco. Debajo de esto hay que seleccionar una de las dos frases: 1) si cualquier persona que utilice el ordenador pueda usar el programa (“Anyone who uses the computer”) o por el contrario, 2) sólo usted pueda usar el programa (“Only for me”).

Una vez rellenada esta ventana pulsar en “Next”.

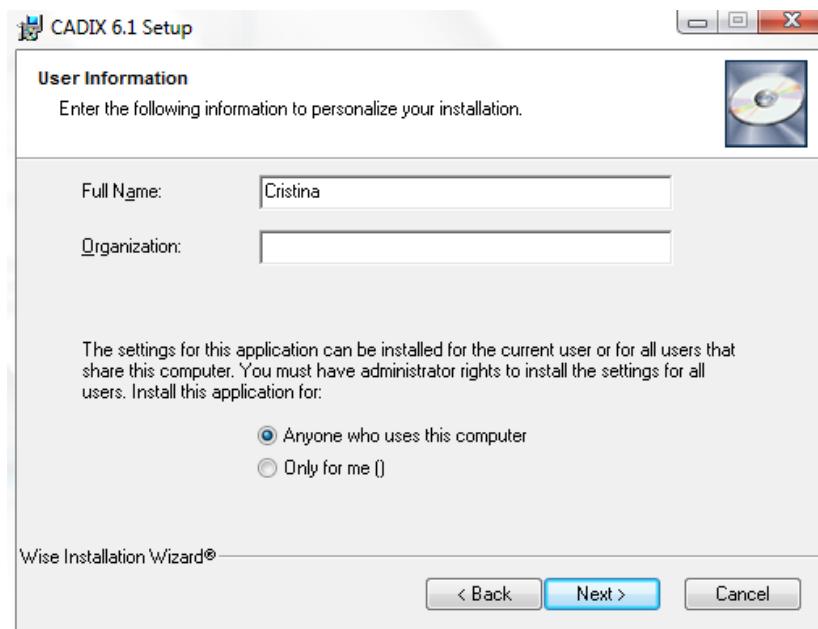


Figura 4.4: Información sobre el usuario

Para continuar con la instalación, en la ventana mostrada en la figura 4.5, se debe seleccionar la carpeta en la cual se quiere instalar el programa CADIX, por defecto se crea una carpeta llamada CADIX61 en el disco duro del ordenador, pero seleccionando en “Browse” se puede seleccionar otra carpeta para guardar el programa. Una vez elegido presionar en “Next”.

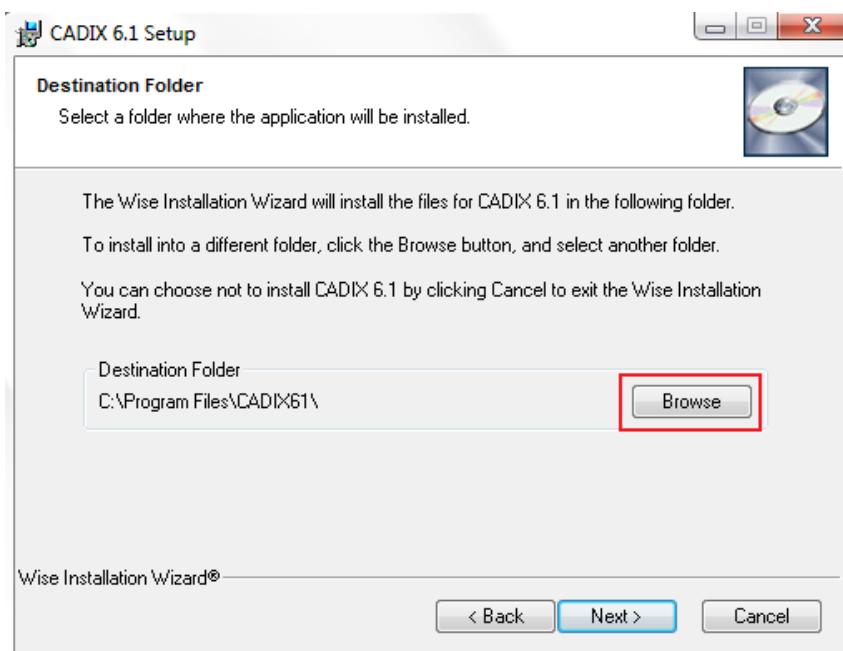


Figura 4.5: Selección de la carpeta de instalación

En la ventana mostrada en la figura 4.6, se informa de que está todo listo para comenzar realmente la instalación en el ordenador. Se puede seleccionar una de las tres opciones: “Next” para continuar con el proceso anterior, “Back” para volver a la ventana previa y “Cancel” para cancelar la instalación.

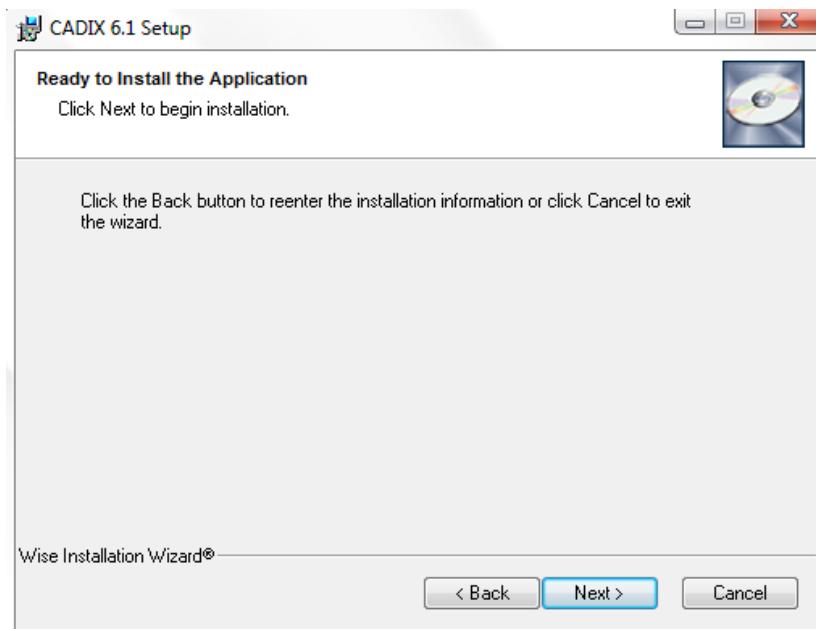


Figura 4.6: Comienzo de la instalación

La ventana que aparece en la figura 4.7 muestra el estado de la instalación.

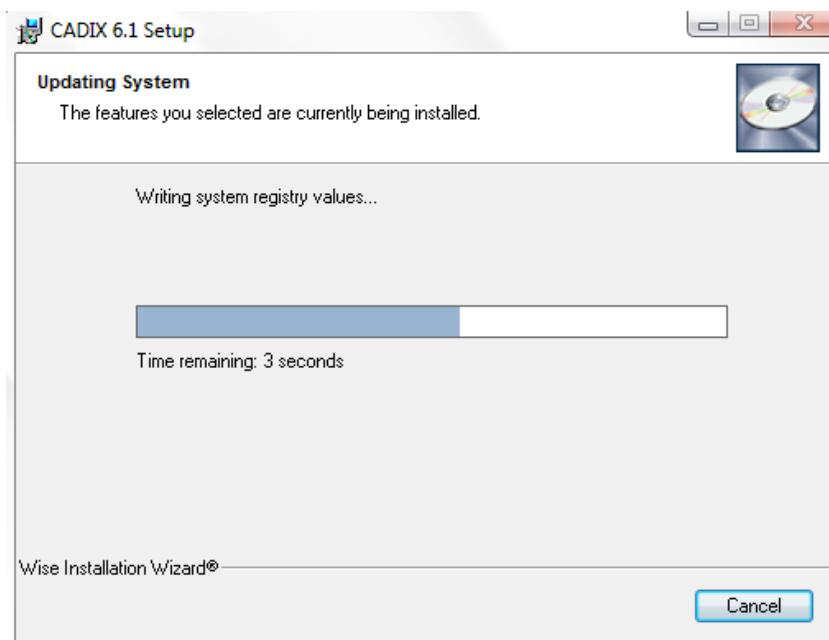


Figura 4.7: Estado de la instalación del programa

Una vez acabada la instalación, aparece directamente la ventana mostrada en la figura 4.8, que indica que la instalación ha finalizado correctamente, pulsando sobre “Finish” se sale de la instalación.



Figura 4.8: Instalación finalizada

El programa CADIX ya está instalado correctamente en el ordenador, en la carpeta que se haya seleccionado en la ventana mostrada en la figura 4.5. Ya está listo para ser usado por el usuario. Para poder ejecutarlo hay que pulsar en el ícono mostrado en la figura 4.9.



Figura 4.9: Programa CADIX

4.2. Registro del usuario

La primera vez que se abre el programa CADIX aparece una ventana de registro, como la que se muestra en la figura 4.10. Para poder utilizar el programa completamente es necesario estar registrado, para ello se debe pulsar “Register now”. En el caso de que solo se necesiten las funciones básicas de CADIX pulsar en

“Continue Unregistered” es decir, continuar sin registrarse, en este caso ya se podrá comenzar a utilizar el programa. Debajo a la izquierda, está señalada por defecto la opción “Always show at start-up while not registered”, que quiere decir que va a aparecer esta ventana al abrir el programa mientras no se introduzca la contraseña y se sepa que está registrado.



Figura 4.10: Ventana de registro del usuario

Si se selecciona “Register now” aparece la ventana de la figura 4.11, en la que nos pide la contraseña del programa que se debe escribir en los cuadros blancos separados por guiones, una vez introducida clicar en “Proceed” para confirmar. En este caso también está señalada por defecto la opción “Always show at start-up while not registered”, explicada en el párrafo anterior.

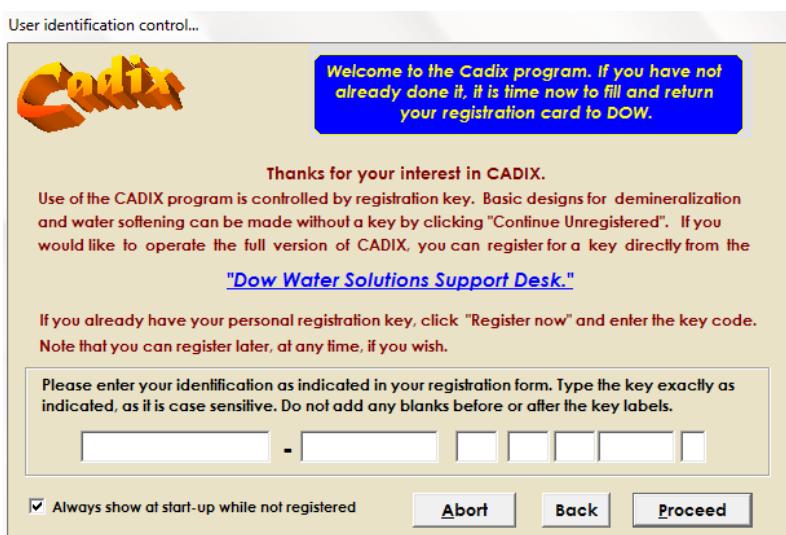
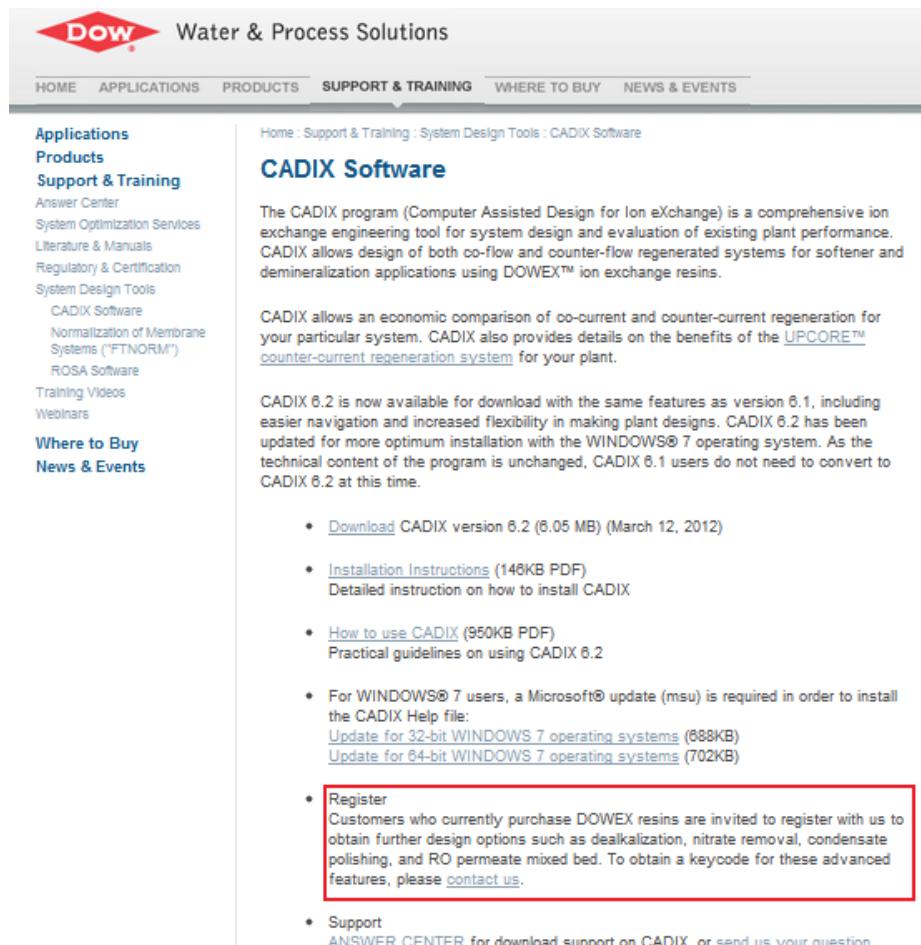


Figura 4.11: Introducción del código del programa

Para registrarse y poder obtener la contraseña del programa hay que ir a la página desde la cual se descargó el programa:

http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/cadix.htm

En dicha página hay que darle en “contact us”, tal como se muestra en la figura 4.12, esto conduce a la página de registro.



The screenshot shows the Dow Water & Process Solutions website. The header includes the Dow logo and navigation links for HOME, APPLICATIONS, PRODUCTS, SUPPORT & TRAINING, WHERE TO BUY, and NEWS & EVENTS. The left sidebar has links for Applications, Products, Support & Training, Answer Center, System Optimization Services, Literature & Manuals, Regulatory & Certification, System Design Tools, CADIX Software, Normalization of Membrane Systems ("FTNORM"), ROSA Software, Training Videos, and Webinars. The main content area is titled "CADIX Software" and describes the CADIX program as a comprehensive ion exchange engineering tool. It mentions the availability of CADIX 6.2, download links for the software, installation instructions, and how-to guides. A red box highlights the "Register" section, which invites customers to register for advanced design options like dealkalization, nitrate removal, condensate polishing, and RO permeate mixed bed. The "Support" section links to the ANSWER CENTER for download support on CADIX.

Figura 4.12: Página de CADIX

En la página de registro, figura 4.13 hay que introducir los datos del usuario en las casillas marcadas para ello.

First Name*

Last Name*

Organization Name*

Address*

City*

State/Province

Zip/Postal Code

Country*

Please Select One:

Telephone*

 (Include Country/Area Code)

Email Address*

Type of user*

Please Select One:

Comments/Questions

ECLECTICO, 

Escribe las dos palabras:

 CAPTCHA™
stop spam.
read books.

Figura 4.13: Página de registro

- “First Name”: Nombre de pila del usuario.
- “Last Name”: Apellido del usuario.
- “Organization Name”: Nombre de la empresa u organización en la cual se hará uso del programa.
- “Address”: Dirección del usuario.
- “City”: Ciudad.
- “State/Province”: Provincia o región a la cual pertenece dicha ciudad.
- “Zip/Postal Code”: Código postal.

- “Country”: País, pinchar sobre el cuadro desplegable y seleccionarlo.
- “Telephone”: Número de teléfono del usuario incluyendo los prefijos del país o región.
- “Email Address”: Dirección de correo electrónico.
- “Type of user”: Tipo de usuario. En el cuadro desplegable hay 7 opciones para seleccionar:
 - “Equipment Manufacture”: Fabricante de equipos.
 - “Distributor”: Distrobuidor.
 - “End User”: Usuario final.
 - “Consultant”: Asesoria.
 - “University”: Universidad.
 - “Other”: Otro tipo de usuario.
- “Comments/Questions”: Comentarios o cuestiones que se quieran hacer.

Por último hay que llenar el cuadro que aparece en la figura 4.14. En el cuadro de abajo a la izquierda hay que escribir las letras que aparecen, en este caso: “rengFsp Regl”. Una vez completada toda la ficha de registro se le da a “Send” para acabar con el registro.



Figura 4.14: Comprobación de usuario real

Al cabo de unos días después de haber realizado el registro, llegará un mensaje al correo electrónico escrito en el registro por parte de Dow Chemical en el que se encuentra la contraseña del programa para poder acceder a la totalidad de CADIX.

En la ventana de la figura 4.15, se muestra la información del propietario de CADIX, para poder utilizar el programa hay que estar de acuerdo con las indicaciones que hace, si este es el caso se debe marcar la opción “I fully agree with the above statement” (estoy totalmente de acuerdo con la declaración anterior). En el caso de no querer respetar las indicaciones que pone se debe marcar “I disagree” (no estoy de

acuerdo) en cuyo caso se cerrará el programa debido a que no se respetan las declaraciones del propietario.

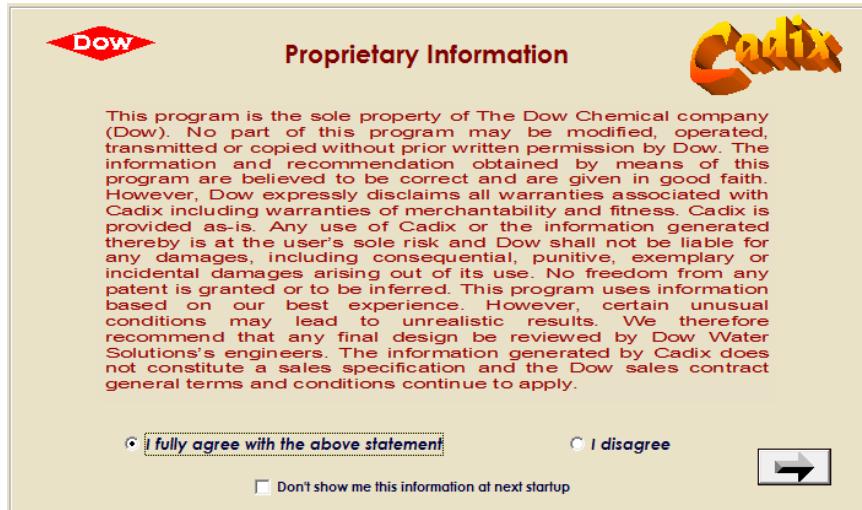


Figura 4.15: Condiciones de uso de CADIX

Hay una tercera casilla debajo de las dos recién mencionadas que dice “Don’t show me this information at next startup” en el caso de ser marcada quiere decir que esta ventana no aparecerá más en las próximas aperturas del programa.

Una vez llenado todo a gusto del usuario hay que darle a la flecha de abajo a la derecha para poder comenzar a utilizar el programa.

4.3. Variables de interés del programa

En este apartado se explicarán las principales variables y parámetros que afectan al funcionamiento de un sistema de intercambio iónico, y en concreto, a todos aquellos que se utilizan en el programa.

4.3.1. Temperatura y flujos

La presión, la temperatura y los distintos tipos de flujos son variables de gran importancia en el funcionamiento de un sistema de intercambio iónico, y por tanto es necesario controlarlos y optimizarlos lo mejor posible.

4.3.1.1. *Temperatura*

La temperatura que poseen las corrientes de la instalación es una variable de gran importancia. Generalmente, los sistemas de intercambio iónico están hechos para funcionar a temperaturas de agua de alimentación entre 10 y 37,78°C. Las temperaturas más altas pueden ser perjudiciales para las resinas aniónicas del sistema.

Una gran parte del proceso de intercambio iónico depende de la habilidad de los iones de difundirse dentro y fuera de la matriz de la resina. Esto puede ser seriamente disminuido por una baja temperatura. Los lechos de resina deben ser por lo menos 50% mayores en diámetro y 100% mayores en volumen para aguantar corrientes de agua por debajo de 4,45°C.

El programa CADIX siempre pedirá al usuario la temperatura a la que se encuentra la corriente de alimentación.

4.3.1.2. *Flujos*

El flujo total de agua en la instalación en el programa es llamado “Net flow rate per line”, dicho caudal se mide en unidades de volumen por tiempo (m³/h).

4.3.2. Parámetros de calidad del agua

El sistema de intercambio iónico depende en gran medida del tipo de agua que se vaya a tratar. Para caracterizar el agua de alimentación, en CADIX, se utilizan un gran número de parámetros que van a ser explicados a continuación.

4.3.2.1. “Silica as SiO₂”

Este parámetro se refiere a la cantidad de sílice en forma de SiO₂ que contiene una corriente dada medido en mg/l.

La sílice se encuentra en la mayoría de las aguas y puede estar en forma soluble, insoluble y coloidal. Muchas aguas naturales contienen menos de 10 mg/l, pero algunas pueden llegar a contener hasta 80 mg/l.

4.3.2.2. “pH”

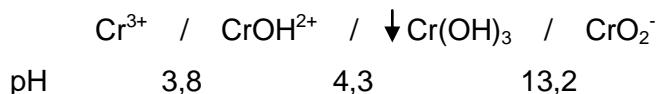
El pH es un parámetro que indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+ , o simplemente H^+) presentes en una disolución acuosa. Su valor oscila entre 0 y 14, y se define como:

$$pH = -\log_{10}(a_{\text{H}_3\text{O}^+}) \quad (\text{Ec 5.1})$$

Siendo $a_{\text{H}_3\text{O}^+}$ la actividad del ión hidronio.

El valor del pH en que se lleva a cabo una experiencia de intercambio iónico puede afectar, tanto a los iones en disolución como a la resina intercambiadora.

Afecta a los iones a intercambiar, ya que la forma en que se encuentran en disolución puede estar sujeta a equilibrios de hidrólisis. Por ejemplo, el ión Cr^{3+} se encuentra en disolución formando las siguientes especies, dependiendo del pH:



Los iones Cr^{3+} y CrOH^{2+} pueden ser retenidos por una resina catiónica, en cambio con los iones $\text{Cr}(\text{OH})_3$ y CrO_2^- no se produce intercambio iónico ni con resinas aniónicas ni catiónicas.

En disoluciones fuertemente ácidas, los H^+ se retienen en la resina catiónica impidiendo que puedan hacerlo otros cationes en menor concentración en la disolución. Lo mismo ocurre para una resina aniónica en un medio fuertemente alcalino.

4.3.2.3. “Free CO₂”

Éste parámetro representa el contenido de CO_2 que tiene el agua expresado en mg/l. En términos generales, los problemas de corrosión o incrustación de las aguas

se deben principalmente a la concentración de CO_2 libre, aunque también pueden intervenir otros elementos.

Si el CO_2 libre es mayor que el CO_2 de equilibrio, existe exceso de CO_2 , por lo que se considera que el agua es agresiva. Si el CO_2 libre es igual al de equilibrio, el agua está en equilibrio. Sin embargo, cuando el CO_2 libre es menor que el de equilibrio, existe deficiencia en el CO_2 de equilibrio, y se dice que el agua es incrustante.

Cuando el CO_2 se disuelve en el agua, reacciona con ella para formar ácido carbónico, el cual se disocia en iones hidrógeno y el ion bicarbonato, siguiendo la siguiente reacción:



La alcalinidad de gran parte de las aguas subterráneas es causada por las sales de bicarbonato (HCO_3^-) disueltas y tienen un pH de aproximadamente 8.2 a 8.4. En el rango de pH entre 4.4 y 8.2 existe un balance entre el CO_2 en exceso y los iones bicarbonato, arriba de un pH de 8.4, el CO_2 deja de existir en cantidades medibles, y el ión carbonato empieza a aparecer.

La distribución de las especies químicas relacionadas con el CO_2 se muestran en la figura 4.16, el CO_2 combinado con el agua es H_2CO_3 , el HCO_3^- corresponde al CO_2 parcialmente entrelazado y el CO_3^{2-} al CO_2 enlazado.

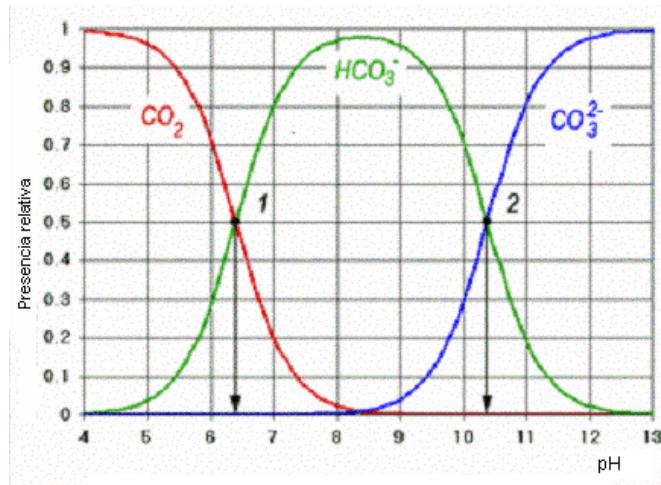


Figura 4.16: Formas del CO_2 a diferentes pH

4.3.2.4. “Organics as KMnO₄”

Éste parámetro se refiere a la materia orgánica en forma de KMnO₄ que hay en el agua, en unidades de mg/l. El permanganato de potasio es un agente oxidante muy fuerte, sirve para conocer la cantidad de materias orgánicas presentes en el agua mediante la oxidación con KMnO₄ en caliente y en medio ácido.

4.3.2.5. “Organics as O₂”

“Organics as O₂” se refiere a la materia orgánica que hay en el agua medida en forma de O₂ y se expresa como mg/l.

La cantidad de materia orgánica se puede determinar por dos procedimientos principalmente: la demanda química de oxígeno (D.Q.O.) y la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.). La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin intervención de los organismos vivos. La demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) es la cantidad de oxígeno eventualmente consumida por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición en condiciones normalizadas de incubación de las materias orgánicas contenidas en el agua analizada.

4.3.2.6. “% non polar”

Éste parámetro se refiere al porcentaje de materia no polar que contiene el agua.

4.3.2.7. “Suspended material (average)”

Éste parámetro se refiere a la materia en suspensión que hay en el agua de alimentación, medida en mg/l. La materia en suspensión se puede separar por tratamientos físico-químicos, como sedimentación o filtración.

5. Manejo y funcionamiento de CADIX

El programa CADIX tiene el aspecto mostrado en la figura 5.1, está dividido en la cabecera principal, la cabecera secundaria y el pie de ventana.

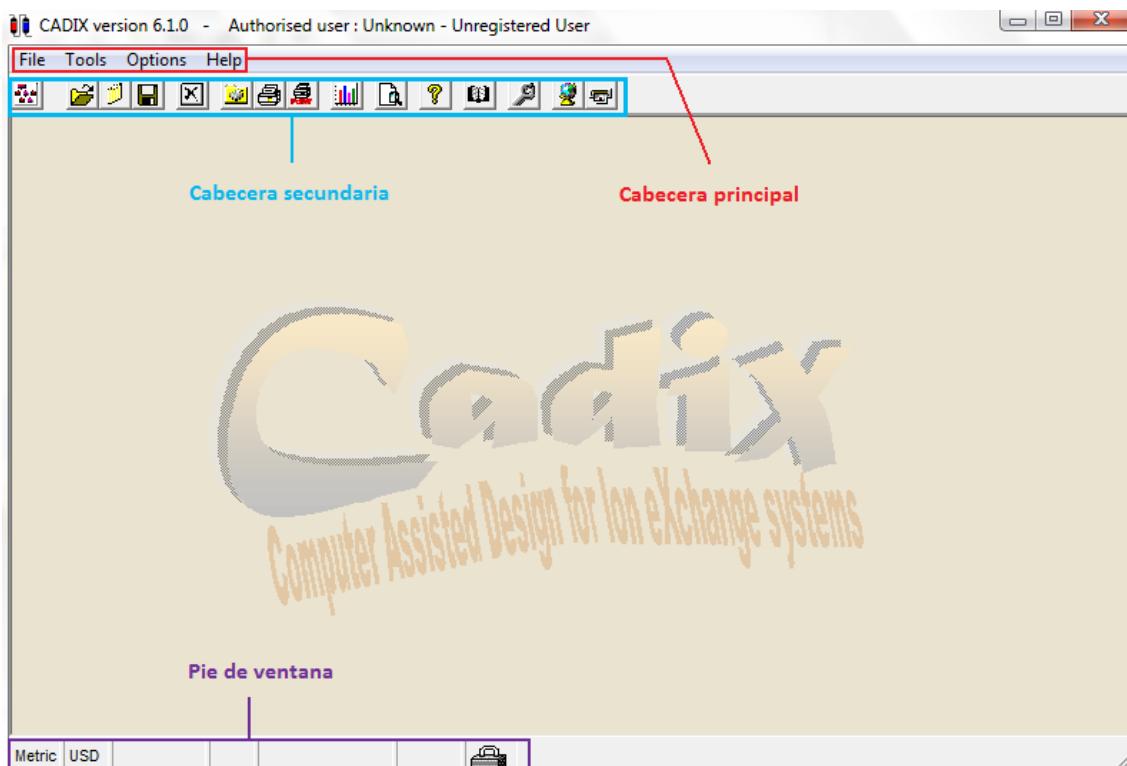


Figura 5.1: Ventana principal de CADIX

La cabecera principal incluye todas las herramientas y menús del programa dividido en 4 ventanas desplegables. La cabecera secundaria está compuesta por diferentes iconos que representan distintas opciones del programa, están incluidas las opciones más usadas para poder acceder a ellas de forma rápida. Por último se encuentra el pie de ventana en la parte inferior de ésta, esta última sección proporciona información acerca del proyecto que el usuario está realizando.

Dentro de los diferentes menús se encuentran las ventanas a través de las cuales se podrán realizar los distintos proyectos que desee el usuario acerca de resinas de intercambio iónico.

Por último se encuentran el menú de navegación a través del cual se pueden acceder a las principales ventanas para la realización el proyecto y el diseño del proyecto en el cual se explican las principales ventanas para su realización.

5.1. Cabecera principal

La cabecera principal del programa CADIX está dividida en 4 apartados desde los cuales se puede acceder a cualquiera de las funciones del programa. Los 4 apartados son: archivo, herramientas, opciones y ayuda (figura 5.2).

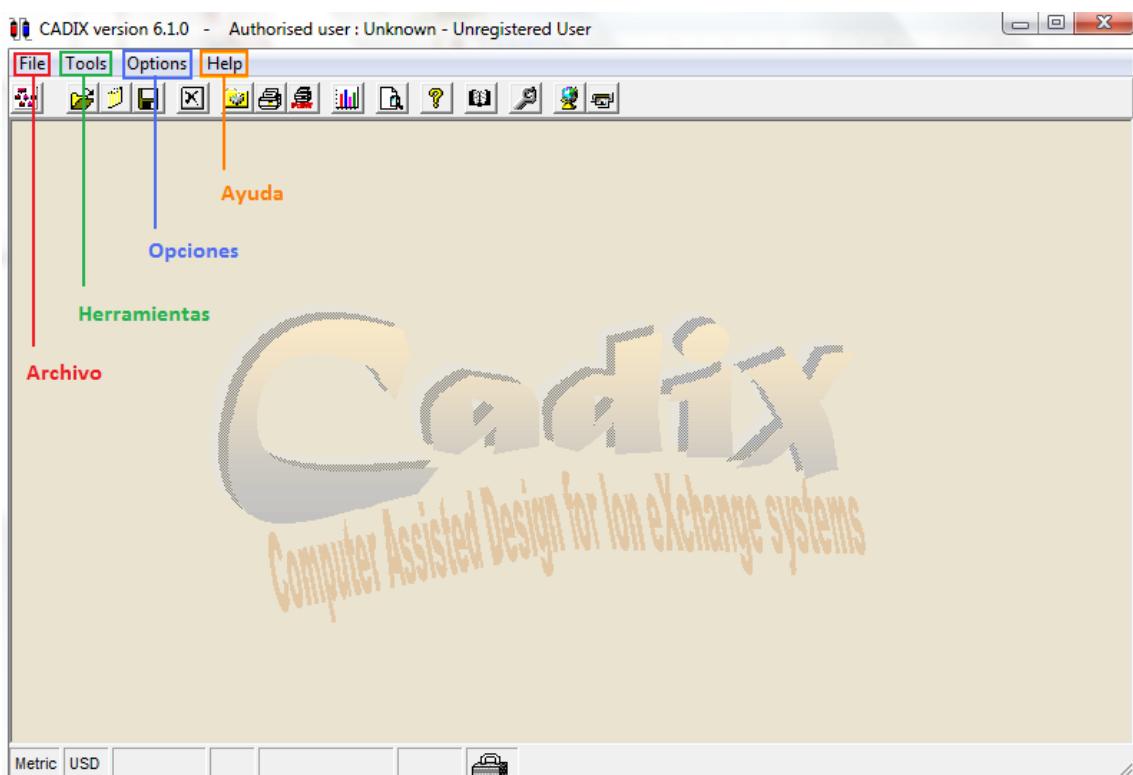


Figura 5.2: Menús desplegables de la cabecera principal

5.1.1. File (Archivo)

Dentro de este menú desplegable se pueden encontrar distintas opciones para hacer un nuevo proyecto, abrirlo, guardarlo, borrarlo, cerrarlo, también permite imprimir y configurar la impresora, mandar el archivo CADIX por e-mail, abrir la selección de un proceso para realizar y cerrar el programa. Estas opciones se muestran en la figura 5.3 y se describen a continuación.

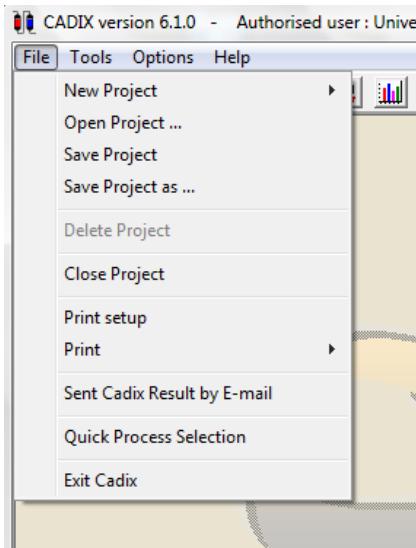


Figura 5.3: Menú desplegable de “File”

1) **New Project (Nuevo proyecto)**

Para comenzar a realizar un nuevo proyecto se abre la pestaña de “New Project” poniendo el puntero encima y aparecen diversos tipos de procesos para el proyecto (véase la figura 5.4).

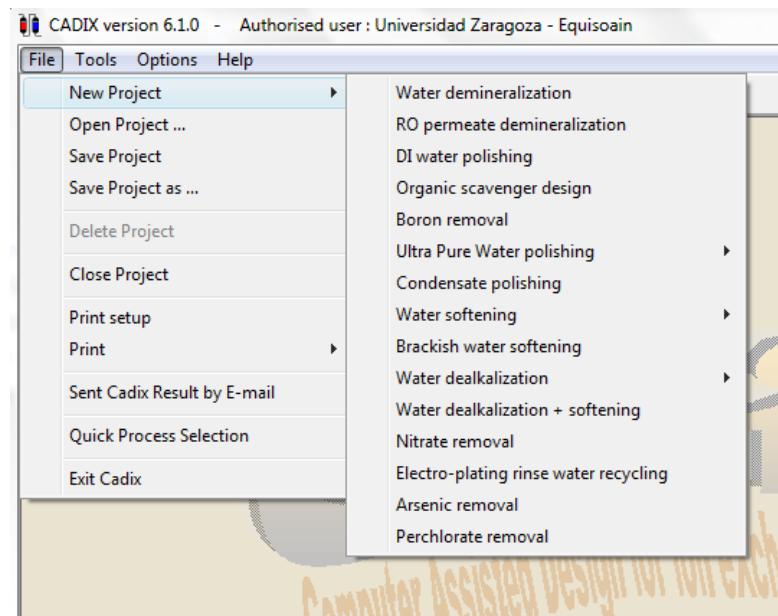


Figura 5.4: Ventana de nuevos proyectos

Dentro de “New Project” hay una lista de los distintos proyectos disponibles en el programa para realizar. Todos ellos tienen la misma base para realizarlos, por tanto con saber cómo funciona uno, explicado en el apartado 6, se puede saber cómo

realizar el resto. Los distintos proyectos disponibles mostrados en la figura 5.4 son los siguientes:

- “Water demineralization”: Desmineralización del agua.
- “RO permeate demineralization”: Desmineralización del permeado de la ósmosis inversa.
- “DI water polishing”: Pulir agua desmineralizada.
- “Organic scavenger design”: Diseño de limpieza de materia orgánica.
- “Boron removal”: eliminación de boro.
- “Ultra Pure Water polishing”: Pulir agua ultra pura. Dentro de ésta opción hay otras dos (figura 5.5): “UPW Final loop polishing”, pulir el último bucle del agua ultra pura y “Silica & Boron removal for UPW”, eliminar del agua ultra pura el boro y la sílice.
- “Condensate polishing”: Pulir el condensado.
- “Water softening”: Ablandamiento del agua. Dentro de ésta opción hay otras dos (figura 5.6): “Using Strong Acid Cation in Na-form”, usar un catión ácido fuerte en forma de Na y “Silica & “Using Weak Acid Cation in H-form”, usar un catión ácido débil en forma de H.
- “Brackish water softening”: Ablandamiento de agua salada.
- “Water dealkalization”: Desalcalinización del agua. Dentro de ésta opción hay otras dos (figura 5.7): “Silica & “Using Weak Acid Cation in H-form”, usar un catión ácido débil en forma de H y “Using Strong Base Anion in Cl-form”, usar un anión de base fuerte en forma de Cl.
- “Water dealkalization + softening”: Desalcanización y ablandamiento del agua.
- “Nitrate removal”: Eliminación de nitratos.
- “Electro-plating rinse water recycling”: Reciclaje de agua de lavado de galvanizado.
- “Arsenic removal”: Eliminación de arsénico.
- “Perchlorate removal”: Eliminación de perclorato.

Ultra Pure Water polishing	▶	UPW Final loop polishing
Condensate polishing		Silica & Boron removal for UPW

Figura 5.5: Menú desplegable de “Ultra Pure Water polishing”



Figura 5.6: Menú desplegable de “Water softening”



Figura 5.7: Menú desplegable de “Water dealkalization”

2) Open Project (Abrir un proyecto)

Para abrir un proyecto que se tenga guardado con anterioridad en una carpeta del ordenador, se selecciona “Open Project” y aparecerá la ventana de la figura 5.8, se debe seleccionar la carpeta que contiene el archivo y posteriormente el archivo que se quiera abrir, una vez seleccionado clicar en “Open” para abrirlo. Si se quiere cancelar la apertura de archivos darle a “Cancel”.

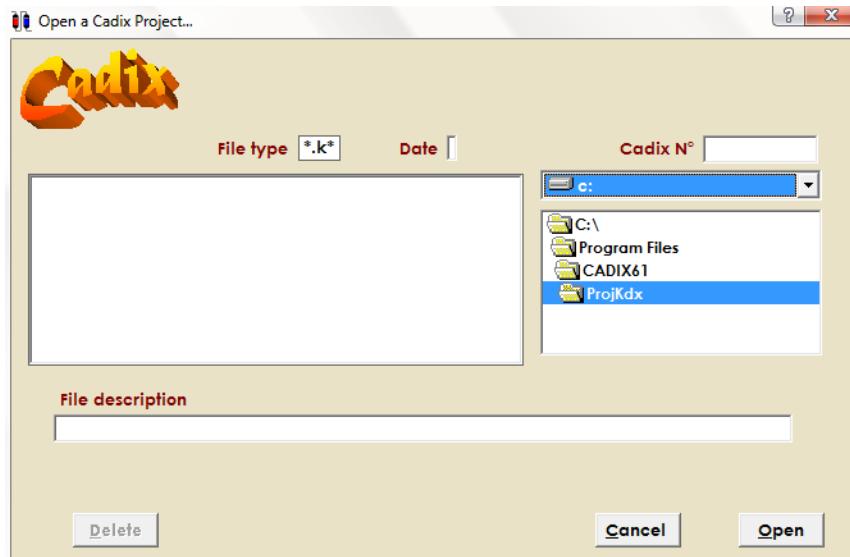


Figura 5.8: Abrir un archivo de Cadix

3) Save Project (Guardar un proyecto)

Permite guardar el proyecto, clicando en “Save Project” se guardará encima del último proyecto guardado que esté abierto. Si es la primera vez que se guarda

aparecerá el cuadro mostrado en la figura 5.9, en la cual se pondrá el nombre del proyecto en el primer recuadro blanco a la izquierda, y en los dos cuadros superiores a la derecha se elegirá la carpeta en la cual se quiera guardar. Una vez introducido el nombre y elegida la carpeta para aceptar pulsar en “Ok”.

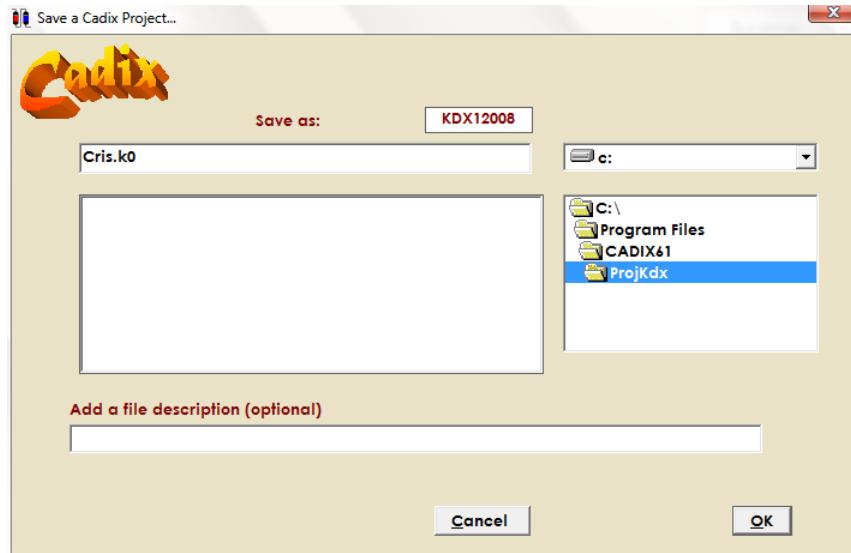


Figura 5.9: Guardar un proyecto de CADIX

Una vez este guardado ese proyecto para volver a guardarlo encima del anterior clicando en ésta opción aparecerá la ventana mostrada en la figura 5.10, para asegurarse de que se quiere remplazar el proyecto actual por el anterior. Si se desea remplazar seleccionar “Sí”, en caso contrario seleccionar “No” o “Cancelar” para cancelar la operación de guardado.

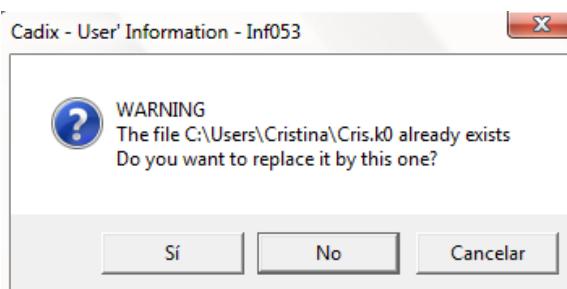


Figura 5.10: Advertencia de guardado

4) **Save Project as (Guardar un proyecto como...)**

Esta opción permite guardar el proyecto con el nombre y en la carpeta que se quiera a través de la ventana mostrada en la figura 5.9. La diferencia con la opción

anterior es que aquí siempre pregunta el nombre y la carpeta de destino para guardar, en el otro caso solo lo pregunta la primera vez, después guarda encima del proyecto que esté abierto y haya sido guardado con anterioridad.

5) **Delete Project (Borrar un proyecto)**

Este menú permite borrar un proyecto que se tenga guardado en una carpeta del ordenador, la ventana que se abre para borrar el archivo es igual que la de abrir archivos salvo que en vez de “Open” (abrir) está la opción de “Delete” (borrar), ver figura 5.11.

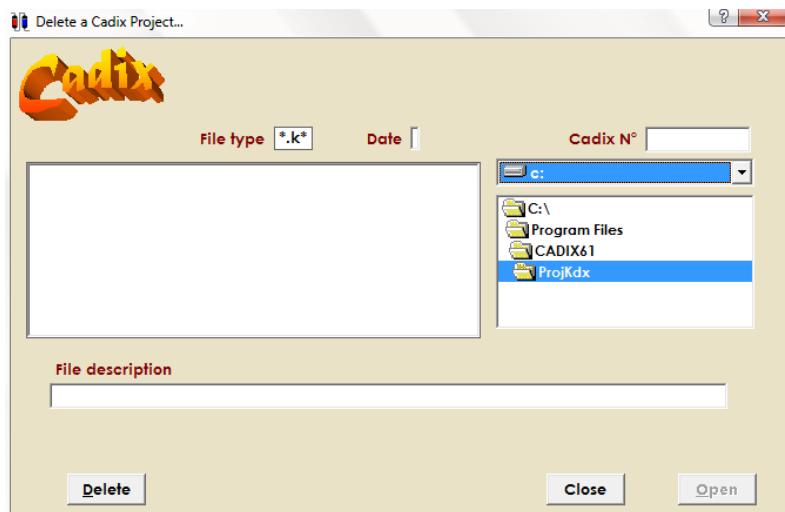


Figura 5.11: Eliminar un archivo de Cadix

6) **Close Project (Cerrar un proyecto)**

Cuando se tiene un proyecto abierto en el programa, haya sido guardado o no, seleccionando esta opción se cerrará dicho proyecto.

7) **Print setup (Configuración de la impresora)**

Desde este menú se puede acceder a la configuración de la impresora, pulsándolo sale la ventana de la figura 5.12.

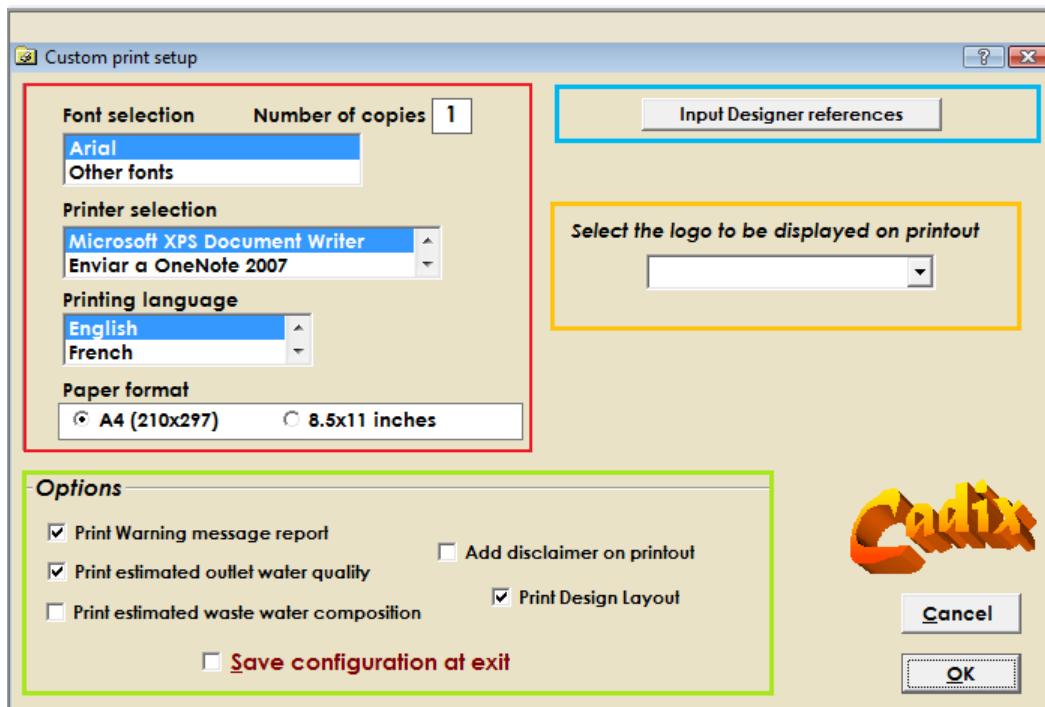


Figura 5.12: Configuración de la impresora

Para configurar la impresora hay que conocer los diferentes apartados del menú que están dentro del recuadro rojo:

- **Number of copies**: número de copias, por defecto hay 1 copia, pulsando encima se puede cambiar el número.
- **Font selection**: selección de fuentes en las que se quiera que se imprima el documento, si se presiona en “other fonts” saldrán otros tipos de fuentes a parte del “Arial”.
- **Printer selection**: selección de la impresora, se debe seleccionar de entre las impresoras que hay para elegir la que se vaya a utilizar para imprimir el archivo.
- **Printing language**: seleccionar el lenguaje con el que se imprimirá el documento de entre 6 opciones, “English” (inglés), “French” (francés), “German” (alemán), “Polish” (polaco), “Russian” (ruso) y “Spanish” (español).
- **Paper format**: formato del papel, hay dos opciones para elegir, din A4 (210x297 mm) o 8,5x11 inches.

Dentro del recuadro verde de “Options”, están las distintas opciones de documentos para imprimir:

- “Print Warning message report”: imprimir el informe del mensaje de advertencia.
- “Print estimated outlet water quality”: imprimir la calidad estimada de agua a la salida.
- “Print estimated waste water composition”: imprimir la composición estimada de las aguas residuales.
- “Add disclaimer on printout”: agregar la limitación de responsabilidad en la impresión.
- “Print Design Layout”: imprimir la presentación del diseño.

Por último en “Save configuration at exit” se guardan los archivos a imprimir seleccionados a la salida de la ventana.

En el recuadro de color naranja se puede elegir un logo para poner en la impresión si se quiere en “Select the logo to be displayed on printout”. Dándole a la flecha, ver figura 5.13, hay dos logos a elegir o en “Other” se puede poner un logo que se tenga guardado en el ordenador.



Figura 5.13: Selección de logo para la impresión

Si se selecciona “Other” aparecerá un cuadro como el de la figura 5.14, que dice que “escriba el nombre de su archivo de su logotipo personal que debe estar ubicado en el directorio de CADIX incluida la extensión (ejemplo: MyLogo.wmf)” una vez hecho lo que indica presionar “Aceptar” y ya se tendrá el logo elegido en la impresión.

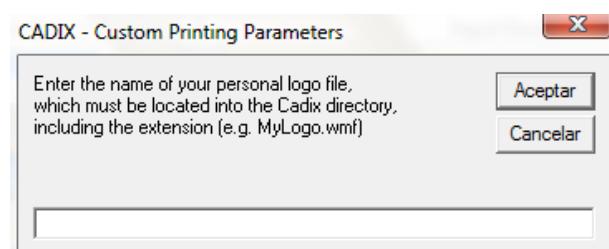


Figura 5.14: Selección de un logo externo

Por último en el cuadro azul que pone “Input Designer references”, es decir, referencia del diseño a la entrada. Pulsando sobre él sale un cuadro como el de la figura 5.15.

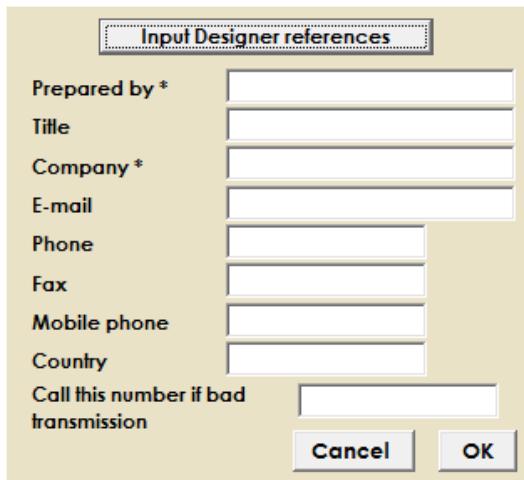


Figura 5.15: Referencias del diseño a la entrada

En las casillas se deben poner los datos del usuario que ha realizado el proyecto, las casillas con asterisco deben ser rellenadas obligatoriamente:

- “Prepared by*”: elaborado por.
- “Title”: título.
- “Company*”: empresa.
- “E-mail”: dirección de correo electrónico.
- “Phone”: teléfono.
- “Fax”: fax.
- “Mobile phone”: teléfono móvil.
- “Country”: país.
- “Call this number if bad transmission”: llamar a este número si la transmisión es mala.

Una vez completadas las casillas pulsar en “Ok” para confirmar o en “Cancel” si se quieren cancelar los datos.

Una vez rellenadas todas las casillas como el usuario desee, pulsar “Ok” para confirmar todos los datos y se pueda proceder a la impresión posteriormente. Si no desea que se guarden los datos puestos seleccionar “Cancel” y se cerrará la ventana de configuración de la impresora cancelándose todos los datos metidos.

8) Print (Imprimir)

Dentro del menú de “Print” hay 4 opciones para elegir los documentos que se quieran imprimir (véase figura 5.16).

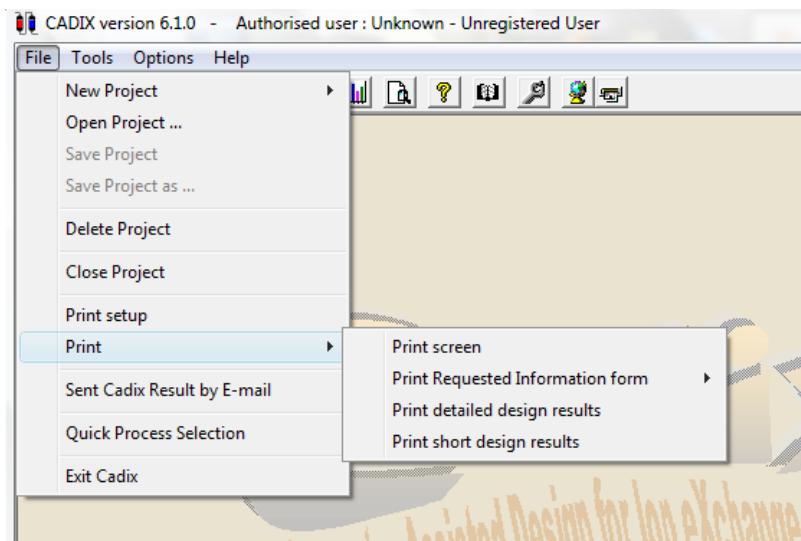


Figura 5.16: Menú desplegable de “Print”

- “Print screen”: imprimir la pantalla, sirve para imprimir lo que se ve en la pantalla, pero antes de ello guarda la imagen a imprimir. Por tanto lo primero que aparece una ventana de guardado para guardar la imagen, seguido se imprimirá en la impresora.
- “Print Requested Information form”: imprimir el formulario de información solicitada. Dentro de éste hay otras 3 opciones a elegir, mostradas en la figura 5.17.

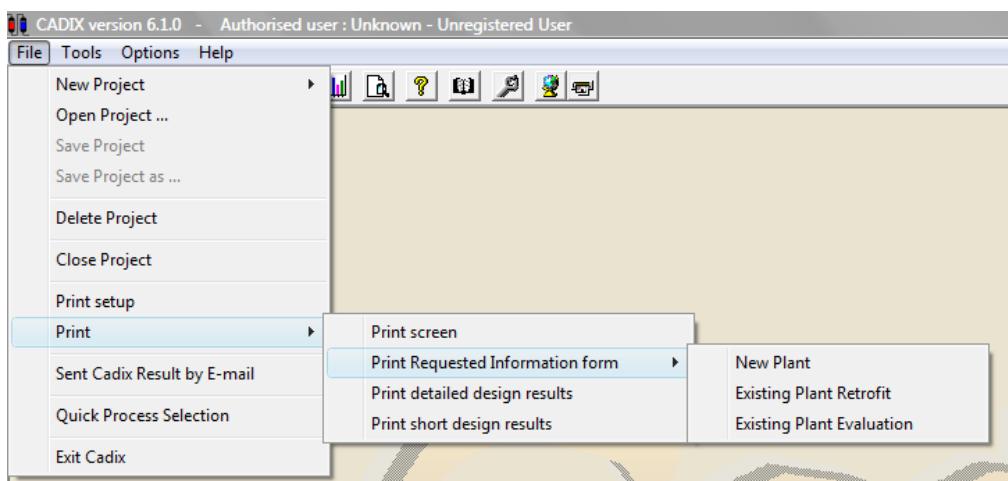


Figura 5.17: Menú desplegable de “Print Requested Information form”

Los 3 formularios de información para imprimir son:

- “New Plant”: nueva planta.
 - “Existing Plant Retrofit”: adaptación de una planta existente.
 - “Existing Plant Evaluation”: evaluación de una planta existente.
-
- “Print detailed design results”: imprimir los resultados detallados de diseño.
 - “Print short design results”: imprimir los resultados breves de diseño.

9) Sent Cadix Result by E-mail (Mandar por e-mail el resultado del proyecto)

Permite enviar el archivo creado con el programa CADIX por correo electrónico. Abriendo el menú aparece una ventana informativa, (figura 5.18), en la cual informa que la función de correo electrónico funciona con Microsoft Outlook y se tiene la opción de enviar archivos de CADIX directamente o electrónicamente si tiene un escritor de pdf instalado en su ordenador, si desea continuar pulsar “Sí”, y si desea cancelar la operación pulsa “No”.

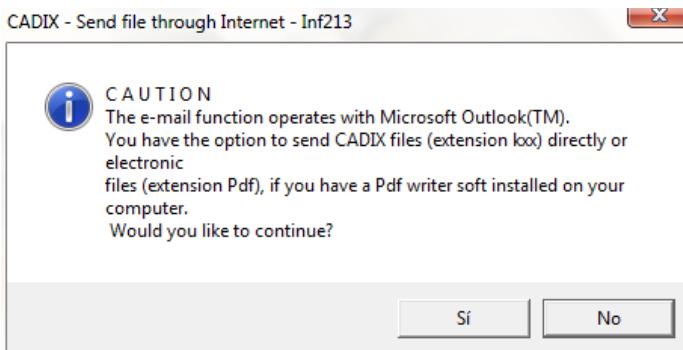


Figura 5.18: Advertencia sobre el correo electrónico

Si en la primera advertencia de la figura 5.18 se seleccionó el “Sí” aparece un nuevo cuadro de dialogo mostrado en la figura 5.19 que avisa acerca de que el mensaje se enviará según las opciones elegidas en la configuración de la impresora explicada anteriormente, y pregunta si desea abrir dicho menú, si lo desea pulse “Sí” en caso contrario pulse en el “No”, por tanto se enviará según la configuración que se tenga ya.

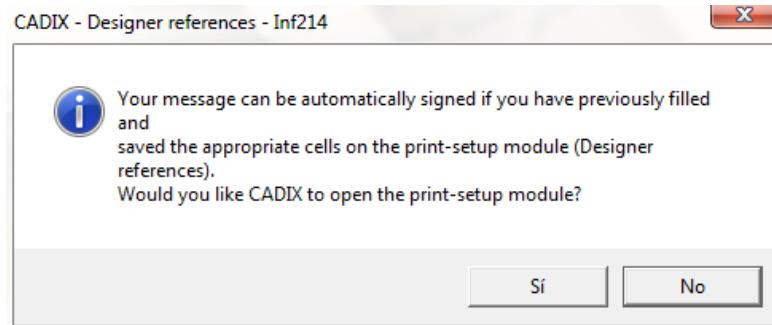


Figura 5.19: Modificar la configuración de la impresora

Si no se han querido modificar las opciones de la impresora aparecerá el cuadro de la figura 5.20, en caso contrario aparecerá el menú de la configuración de la impresora (figura 5.12), y una vez cambiado y dado al “Ok” aparecerá el mismo cuadro que aparecía al seleccionar “Sí” de la figura 5.19, es decir, aparecerá la figura 5.20.



Figura 5.20: Crear el mensaje de correo electrónico

Para completar el cuadro hay que seguir los siguientes pasos:

- “E-mail address”: dirección de correo electrónico a la que se quiere enviar el archivo, se puede ver un ejemplo de cómo escribirlo en la imagen.
- “E-mail subject”: asunto del mensaje
- “E-mail body”: cuerpo del mensaje, es decir el contenido del mensaje que se quiera enviar.
- “Attachment”: indica el número de archivos adjuntos en el mensaje.
- “Browse”: sirve para explorar en el ordenador los archivos que se quieran adjuntar, encima pone “Enter the full path for each attachment, or click

(browse)” que quiere decir que hay dos opciones, o escribir el nombre completo de cada archivo adjunto o se explora pinchando en “Browse”.

- “E-mail signature”: firma de correo electrónico.

Una vez completados los distintos campos para enviar el mensaje, clicar en “Send” es decir, mandar, en el caso de querer cancelar la operación pinchar en “Cancel” y si se quiere cerrar la ventana sin enviar ningún mensaje se pincha en “Close”.

10) Quick Process Selection (Selección de un proceso)

Desde este menú (figura 5.3) se puede acceder a la selección del proceso para el proyecto que se quiera realizar. Dentro esta sección se pueden realizar los distintos proyectos incluidos en el programa. Debido a la complejidad de este menú, se va a explicar más adelante, en un apartado exclusivo para él.

11) Exit Cadix (Salir del programa Cadix)

La opción “Exit Cadix” permite salir del programa. Antes de cerrar el programa, saldrá una advertencia, ver figura 5.21, para preguntar si se está seguro de salir del programa, si es que sí, se clica en “Sí” y se cerrará el programa en caso de querer continuar y no cerrar el programa pulsar “No”.

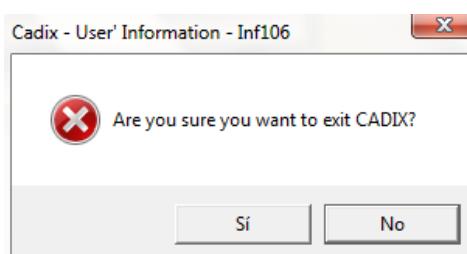


Figura 5.21: Advertencia para salir de CADIX

5.1.2. Tools (Herramientas)

“Tools” es la segunda pestaña que aparece en la cabecera principal (figura 5.2). En este menú aparecen distintas herramientas que pueden ser útiles a la hora de

realizar el proyecto, tal como se muestra en la figura 5.22, y que van a ser descritas a continuación.

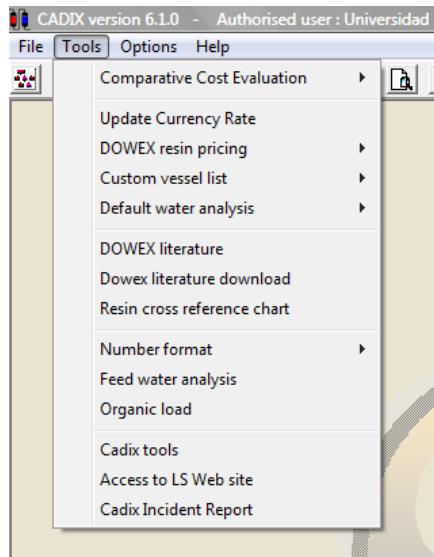


Figura 5.22: Menú desplegable de “Tools”

1) **Comparative Cost Evaluation (Evaluación de los costes comparativos)**

A través de ésta opción se puede obtener una evaluación económica del proyecto realizado, así se podrá saber el coste que supondrán las resinas utilizadas y los reactivos empleados en el sistema. Hay diferentes maneras de realizarla (véase figura 5.23).

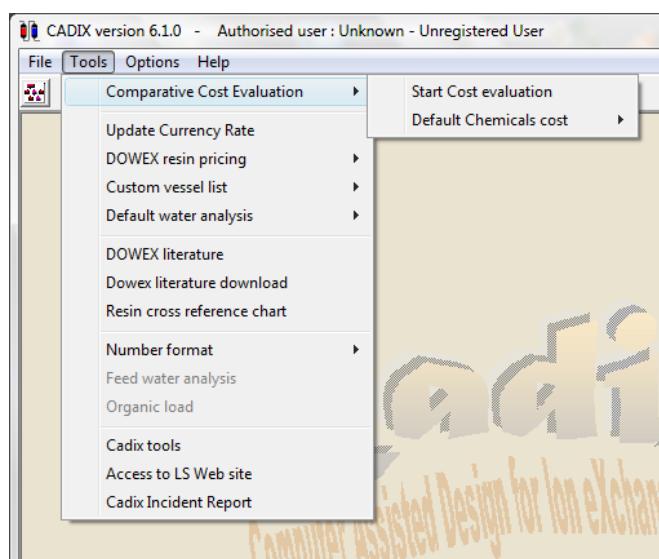


Figura 5.23: Menú desplegable de “Comparative Cost Evaluation”

- “Start Cost evaluation”: comenzar una evaluación económica. Clicando en ella aparece la ventana mostrada en la figura 5.24.

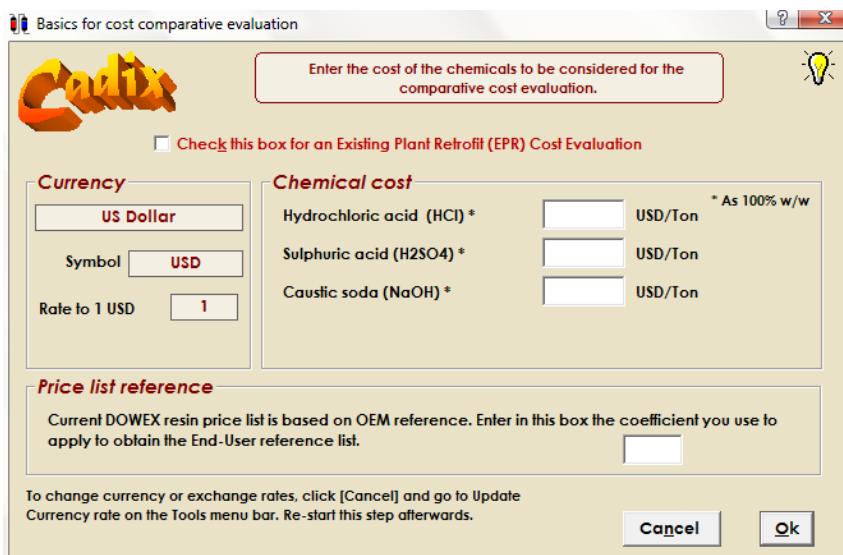


Figura 5.24: Introducción del coste de los reactivos empleados

Hay un apartado llamado “Currency” que significa moneda e informa del sistema monetario que se está utilizando, el tipo de moneda se puede cambiar desde la cabecera principal en “Options” y “Unit system” (apartado 5.1.3) o bien desde el pie de ventana (apartado 5.3). En “Chemical cost”, se introduce el coste de los reactivos utilizados (precio por cada tonelada) para poder realizar la evaluación económica. Estos reactivos pueden ser ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o hidróxido sódico. Por último en el apartado “Price list reference” dice que se introduzca el coeficiente que usted suele utilizar para obtener la lista de referencia para el usuario final, ya que la actual lista de precios de las resinas Dowex se basa en la referencia original, el programa por defecto pone un coeficiente de referencia de 1,25.

En la parte superior hay una casilla que dice “Check this box for an Existing Plant Retrofit (EPR) Cost Evaluation” que quiere decir que se marque esa casilla para una evaluación económica adaptada a una planta existente. Si no se marca la casilla y se le da a “Ok” para confirmar, el programa pedirá que se abra un archivo para realizar la evaluación. Si se marca dicha casilla al pulsar en “Ok” aparecerá la ventana mostrada en la figura 5.25.

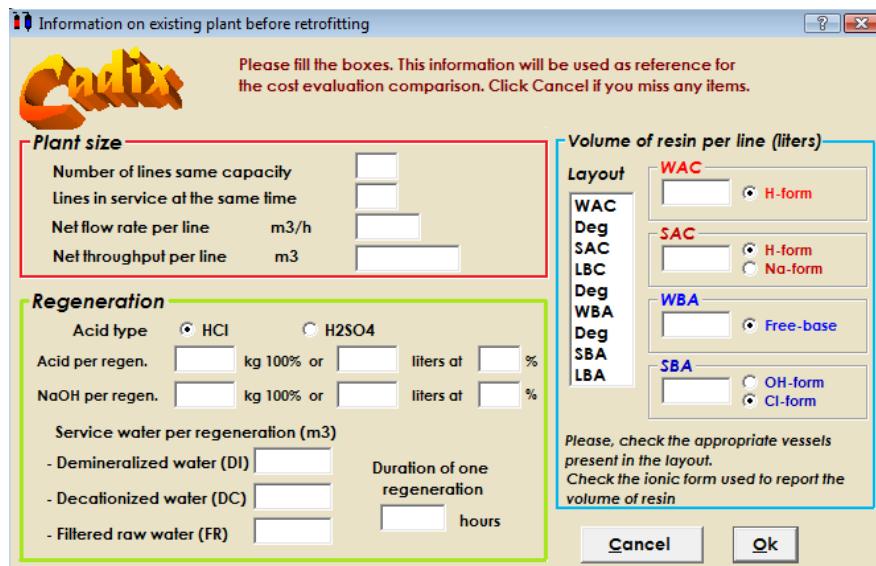


Figura 5.25: Información sobre las instalaciones existentes antes de la adaptación

En la parte superior de la ventana aparece un mensaje que indica que por favor, se rellenen las casillas, esa información se utilizará como referencia para la comparación de evaluación de los costes, y que se haga clic en “Cancel” si se olvida de algún elemento.

En el cuadro rojo que indica “Plant size”, es decir, el tamaño de la planta, hay que llenar 4 casillas:

- “Number of lines same capacity”: número de líneas con la misma capacidad.
- “Lines in service all the same line”: líneas en servicio en toda la misma línea.
- “Net flow rate per line”: caudal neto de agua por línea.
- “Net throughput per line”: volumen neto total de resina por línea.

Dentro del cuadro verde hay que poner la información sobre la regeneración de las resinas de intercambio iónico:

- “Acid type”: tipo de ácido para regenerar, seleccionar cloruro de hidrógeno (HCl) o ácido sulfúrico (H₂SO₄).
- “Acid per regen.”: ácido para la regeneración, se puede introducir en unidades de masa (kg del 100% de ácido) o en volumen (litros al tanto %, ej: 5 litros al 98%).
- “NaOH per regen”: hidróxido de sodio para la regeneración, también puede ir medido en masa o en volumen.

- “Service water per regeneration (m³)”: agua de servicio para el lavado de la resina en la regeneración medida en metros cúbicos:
 - “Demineralized water (DI)”: agua desmineralizada.
 - “Decationized water (DC)”: agua desionizada.
 - “Filtered raw water (FR)”: agua bruta filtrada.
- “Duration of one regeneration”: duración de la regeneración en horas.

En el cuadro azul se pide el volumen de la resina por línea en litros, hay que seleccionar la forma iónica utilizada para informar sobre el volumen de la resina, H⁺ (H-form), Na⁺ (Na-form), base libre (free base), OH⁻ (OH-form) y Cl⁻ (Cl-form), sabiendo lo que significa cada cuadro:

- “WAC”: weak acid cation, es decir, el catión de un ácido débil.
- “SAC”: strong acid cation, catión de un ácido fuerte.
- “WBA”: weak base anion, anión de una base débil.
- “SBA”: strong base anion, anión de una base fuerte.

Una vez llenadas todas las casillas seleccionar “Ok” para confirmar, seguido pedirá que se abra el archivo de Cadix que se quiera comparar.

Una vez abierto el archivo a comparar, aparecerán los resultados de la evaluación económica (figura 5.26) con diferente información referida al “Operating parameters” (parámetros de operación).

Comparative cost evaluation - Page 1

		KDX12014	KDX12014	
Operating parameters	Regeneration system	Water Block	Water Block	
	Number of demin. lines	2	2	
	Total volume of Cation resin	liters	20.450	20.450
	Total volume of Anion resin	liters	22.600	22.600
	Time between 2 regenerations	hours	11.0	11.0
	Duration of one regeneration	hours	2.75	2.75
	Net flow rate per line	m3/h	100,0	100,0
	Net useful throughput	m3	1.100	1.100
	Acid chemical		HCl	HCl
	Amount per regen. as 100%	kg	473	473
	Caustic chemical		NaOH	NaOH
	Amount per regen. as 100%	kg	465	465
	DI Service water per regen.	m3	73	73
	DC Service water per regen.	m3	51	51
	FR Service water per regen.	m3	44	44
	Acid consumption, net	g/m3 DI	430	430
	NaOH consumption, net	g/m3 DI	423	423
	Number of regen. per day (potential)		3,2	3,2

About cost

Page 2

Figura 5.26: Resultados de la evaluación económica

Una vez observado los resultados mostrados en la figura 5.26, clicar en “Page 2” para continuar viendo los resultados de la evaluación económica (figura 5.27) en la que aparece información referida al “Yearly parameters” (parámetros anuales) e información general.

		KDX12014	KDX12014
Yearly parameters			
Number of regenerations		1.103	1.103
Total acid as 100%	Ions	574	574
Total NaOH as 100%	Ions	564	564
DI service water	m3	88.061	88.061
DC service water	m3	62.225	62.225
FR service water	m3	53.006	53.006
Total acid cost	USD	108.487	108.487
Total NaOH cost	USD	135.366	135.366
Service water cost	USD	2.732.378	2.732.378
Total regen.cost	USD	2.976.231	2.976.231
Regeneration cost to 1 m3 DI	USD	14.454	14.454
Ion Exchange resin cost	USD	138.413	138.413
Relative IX resin cost	%	100,0	100,0
10 year operating cost	USD	29.995.660	29.995.660
Process cost FR to DI	Euro/m3	2.473	2.473
Relative process cost FR to DI	%	100,0	100,0
DI water produced a year (net)	m3	1.212.960	1.212.960
One m3 DI water cost (net)	USD	14.473	14.473
About cost		Page 1	Close

Figura 5.27: Continuación de los resultados de la evaluación económica

- “Default Chemicals cost”: coste de los productos químicos predeterminado. Mediante esta opción se pueden modificar los costes de los productos químicos para que se queden establecidos de esa manera y no tener que estar introduciendo los costes cada vez que se realice una evaluación económica. Dentro de ésta opción hay 3 posibilidades mostradas en la figura 5.28.

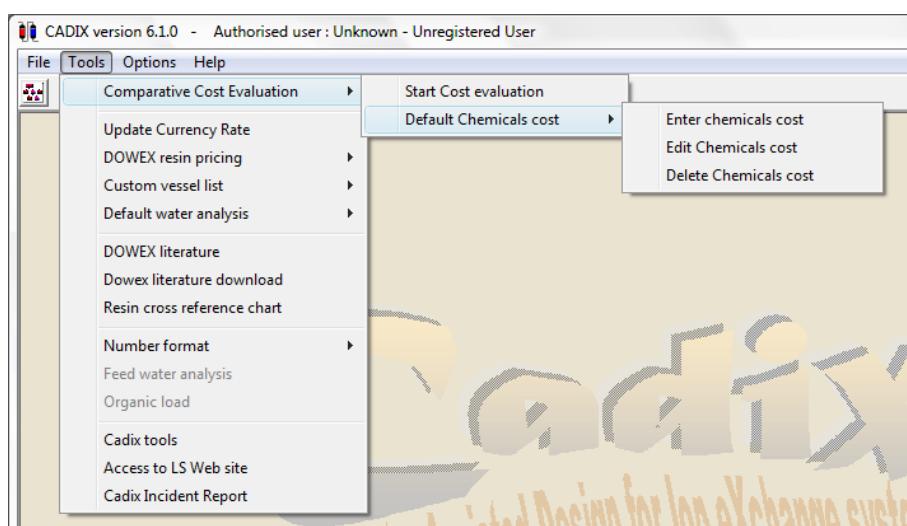


Figura 5.28: Menú desplegable de “Default Chemicals cost”

- “Enter chemicals cost”: introducir los costes de los productos químicos. Permite introducir los costes de los reactivos y guardar una lista con el nombre que se quiera (figura 5.29).

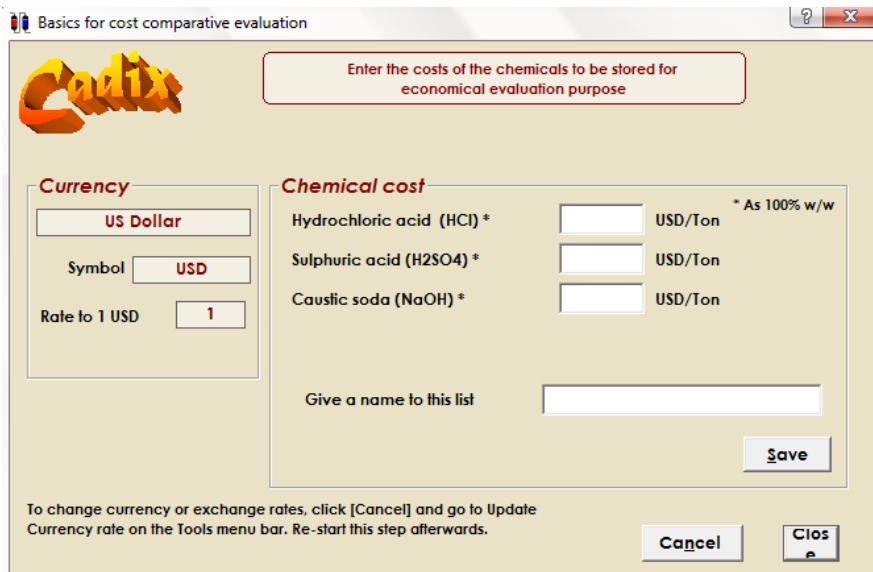


Figura 5.29: Ventana de “Enter chemicals cost”

Se meten los valores como se ha explicado anteriormente, una vez introducidos los valores de los costes de los reactivos en “Give a name to this list” se pone el nombre de la lista que se quiere crear con los valores añadidos, una vez nombrada, presionar “Save” para guardar la lista creada. Si se desea se pueden volver a introducir nuevos valores y guardar más listas clicando en “Save”, por el contrario si no se desea seguir creando listas presionar “Close” para cerrar.

- “Edit Chemicals cost”: editar los costes de los productos químicos. Gracias a esta opción se pueden modificar los costes de las listas creadas (véase figura 5.30), la lista que ya existía por defecto llamada “CADIX Default Chemical cost” no se puede modificar. Se selecciona una lista a la derecha de donde pone “Select a cost from this list”, pinchando en las flechas que hay a la derecha de dicho cuadro aparecen los distintos nombres de las listas de costes que se tengan creadas, se selecciona la que se quiera cambiar y luego se modifican los valores que se deseen. Una vez introducidos los nuevos costes en la lista adecuada, seleccionar “Save” para guardarlo, cuando ya no se desee modificar ninguna lista más clicar en “Close” para cerrar.



Figura 5.30: Ventana de “Edit Chemicals cost”

- “Delete Chemicals cost”: borrar los costes de los productos químicos. Ésta opción permite borrar las listas creadas (figura 5.31), la lista que ya existía por defecto llamada “CADIX Default Chemical cost” no se puede borrar. Se selecciona una lista a la derecha de “Select cost from this list” clicando en las flechas a la derecha del cuadro, una vez seleccionada la lista que se desee borrar, clicar en “Delete”. Cuando se haya terminado de borrar todas las listas que se quiera presionar “Close” para cerrar la ventana.

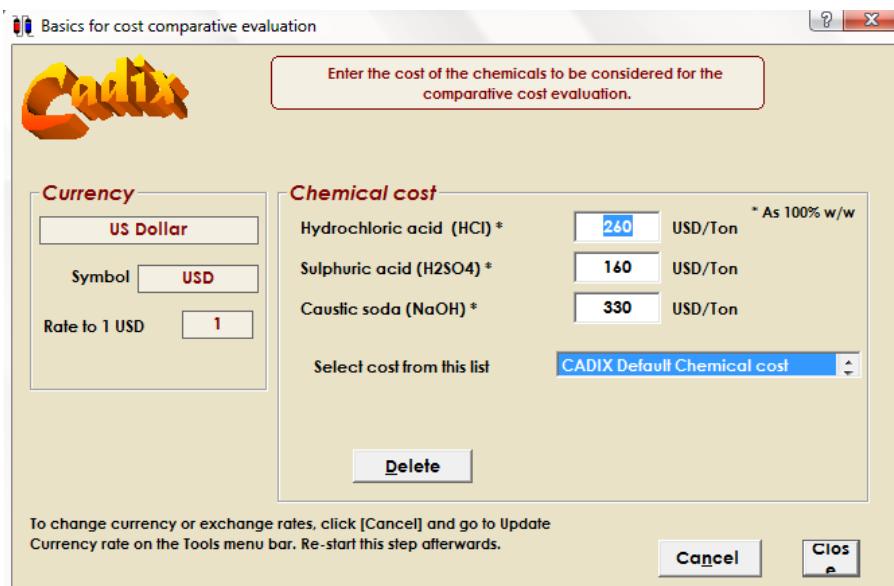


Figura 5.31: Ventana de “Delete Chemical cost”

2) *Update Currency Rate (Actualizar la tasa de la moneda)*

Ésta es la segunda opción de la pestaña “Tools” (figura 5.22) que permite cambiar la moneda utilizada en el programa, también se pueden incluir nuevas monedas que no estén por defecto. Hay 4 tipos de monedas: el “USD” (“US dollar”: dólar de EEUU), “Euro” (“European Currency”: moneda Europea), “£UK” (“UK Sterling Pound”: Libras del Reino Unido) y “Yen” (“Japanese Yen”: Yen Japonés). Para cambiar el tipo de moneda en el cuadro de la figura 5.32, se puede elegir pulsando sobre los círculos dentro del recuadro morado al lado de la moneda que se desee. Para crear nuevas monedas hay que presionar en el cuadrado escrito en rojo para introducir el nombre de la nueva moneda, en el marcado en naranja para poner el símbolo que aparecerá en el pie de página y en el marcado en azul claro el valor de la moneda en comparación a un dólar (USD), se debe recordar que el valor de una moneda respecto de otras, en este caso el USD, cambia continuamente, por tanto se debería de cambiar dicho valor por el actual.



Figura 5.32: Cambio de unidades monetarias

Si no se quiere modificar presionar en “Cancel” para cancelar el cambio, por el contrario, si se elige otra moneda hay que darle a “Save & Close”, es decir, guardar y cerrar el cambio realizado.

3) DOWEX resin pricing (Precios de resina DOWEX)

Tercera opción de la pestaña “Tools”. Dentro de éste apartado hay una opción para escoger, “Enter Resin pricing” (figura 5.33), que permite modificar los precios de las resinas DOWEX que vienen por defecto en el programa.

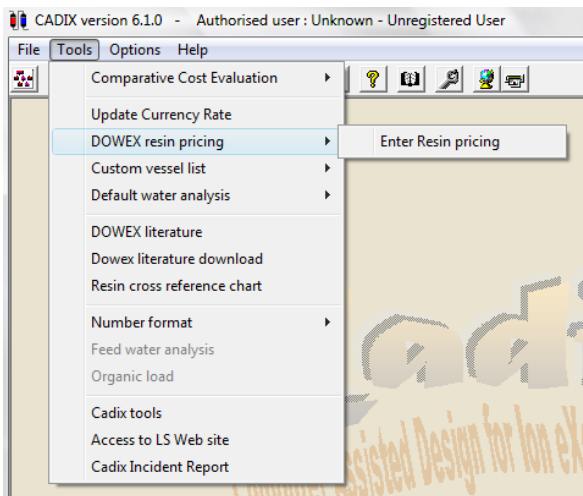


Figura 5.33: Menú desplegable de “DOWEX Resin pricing”

Al clicar en la única opción que da, aparece un mensaje de aviso como el mostrado en la figura 5.34 en el que se informa que se pueden modificar los precios de la resina DOWEX en la siguiente tabla y que se debe asegurar que todas las resinas tienen los precios ya que sino en la etapa de selección de resina en el diseño, puede dar un error de ejecución del proceso.

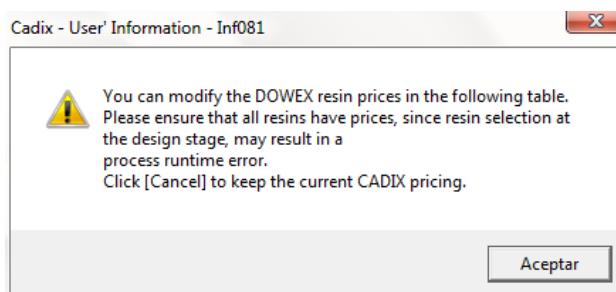


Figura 5.34: Advertencia sobre los precios de las resinas

Al clicar en “Aceptar” aparecerá la ventana de actualización de los precios de las resinas DOWEX, ver figura 5.35, en la cual se pueden ir metiendo los nuevos precios de las resinas, una vez hecho marcar “Save change at exit” para guardar los cambios a salir y por último presionar “Ok”. En caso de no querer cambiar los precios de las

resinas y querer mantener los precios de CADIX pulsar en “Cancel” para cancelar la operación.

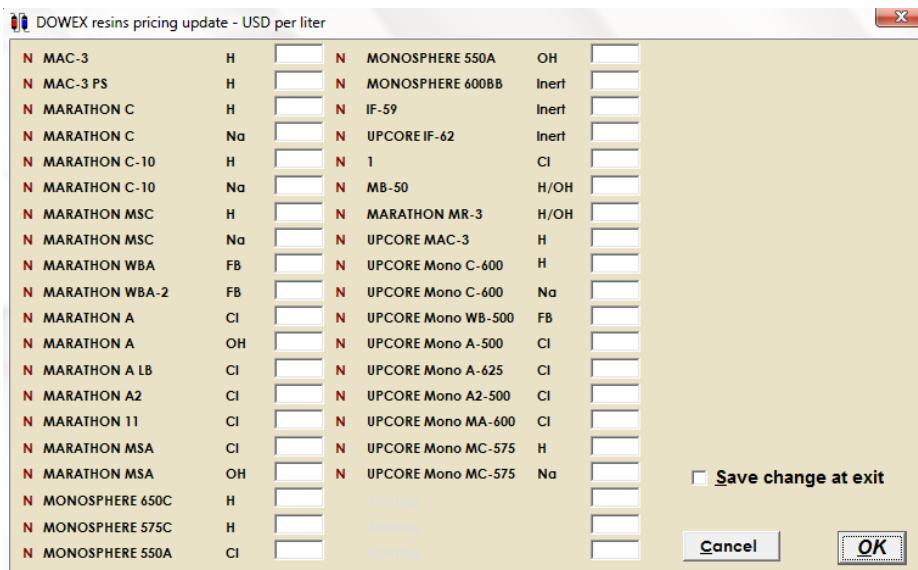


Figura 5.35: Ventana de actualización de los precios de las resinas DOWEX

4) *Custom vessel list (Lista de recipientes de medida)*

La siguiente opción de “Tools” o Herramientas es “Custom vessel list” que muestra la lista de recipientes de medida. Se indican cuatro opciones que van a ser descritas a continuación (figura 5.36).

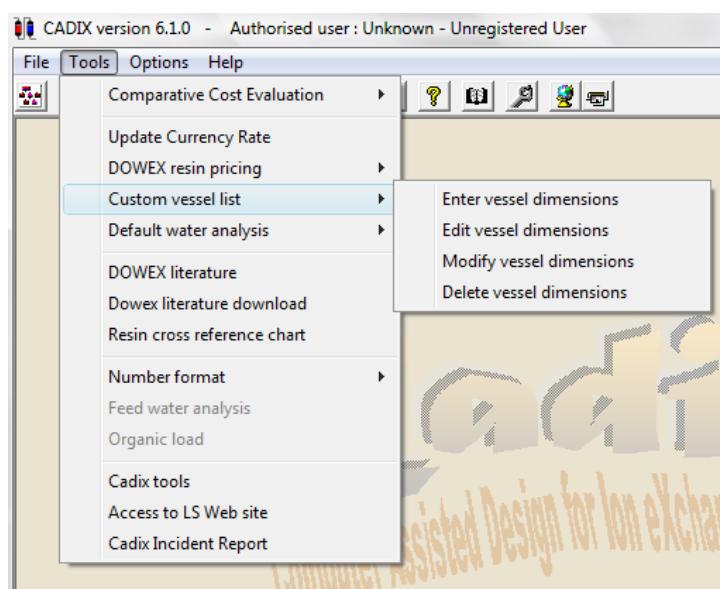


Figura 5.36: Menú desplegable de “Custom vessel list”

- “Enter vessel dimensions”: Introducir las dimensiones del recipiente. Al seleccionar esta opción aparece la ventana de la figura 5.37, en la cual informan de que hay dos posibilidades para entrar en la línea personalizada de recipientes.

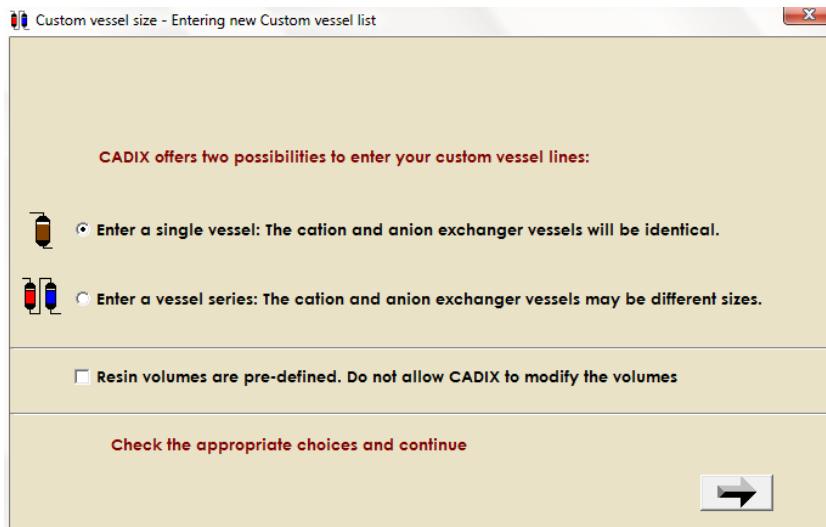


Figura 5.37: Ventana para entrar en las dimensiones del recipiente

La primera posibilidad (el reactor marrón) permite acceder a un único recipiente en el que la resina catiónica y aniónica están mezcladas. En la segunda posibilidad (los dos reactores azul y rojo conectados) la resina aniónica y catiónica estarán emplazadas en distintos recipientes, pudiendo tener distintos tamaños. Por último hay una casilla seleccionable que indica que los volúmenes de la resina están predefinidos y que CADIX no permite modificar los volúmenes, en caso de querer modificar los volúmenes habrá que marcar la casilla.

Después de seleccionar las opciones que se deseen, clicar en la flecha de abajo a la derecha y aparecerá una ventana similar a la de la figura 5.38, para la opción de una serie de recipientes, salvo que los cuadros rosas y azules estarán en diferentes cuadrados según se haya marcado o no el poder modificar los volúmenes de CADIX en la ventana anterior de la figura 5.37. Los datos se introducen en los cuadros blancos, mientras que los cuadros coloreados calculan el valor de forma automática. En el caso de elegir un único recipiente la columna azul y blanca llamada “SBA” no aparecerá.

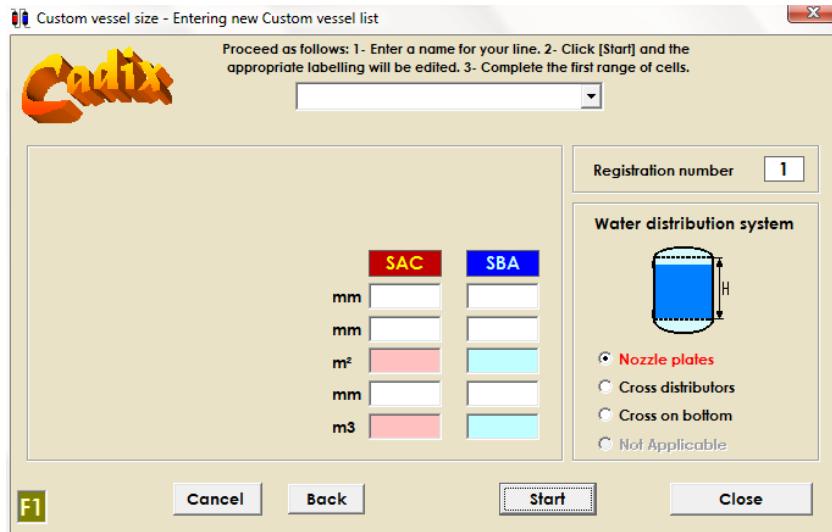


Figura 5.38: Nueva lista de recipientes

Lo primero que se debe hacer es poner un nombre a la línea en el cuadro superior, seguido pulsar en “Start” para que aparezcan las descripciones mostradas en la figura 5.39 recuadradas de verde, después completar los cuadrados blancos, ya que en los rosas y azules aparecerá la medida calculada por el programa según hayamos llenado las otras casillas blancas, y por último elegir a la derecha en “Water distribution system” el sistema de distribución de agua.

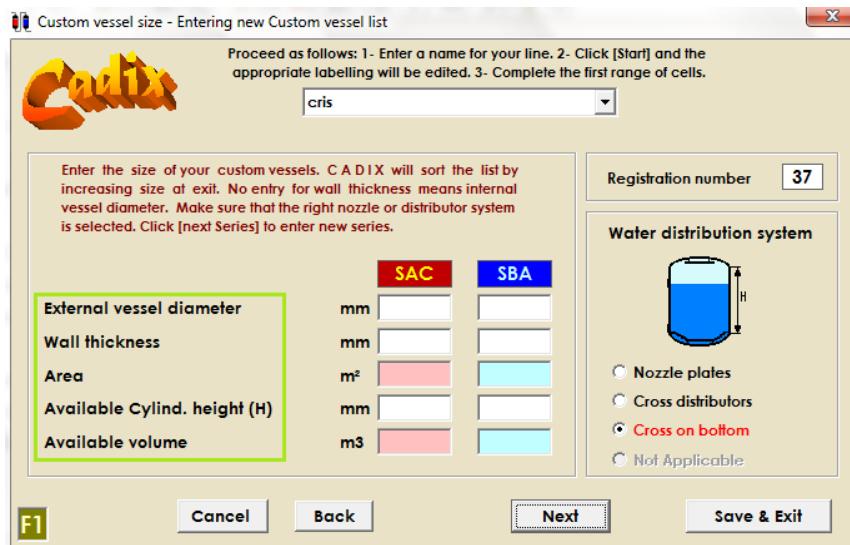


Figura 5.39: Nueva lista de recipientes (paso 2)

Para el caso de “Water distribution system” se muestran 3 opciones de forma que se debe elegir la forma en que se va a distribuir el agua.. En la figura 5.40 se muestra cada una de las opciones dadas.

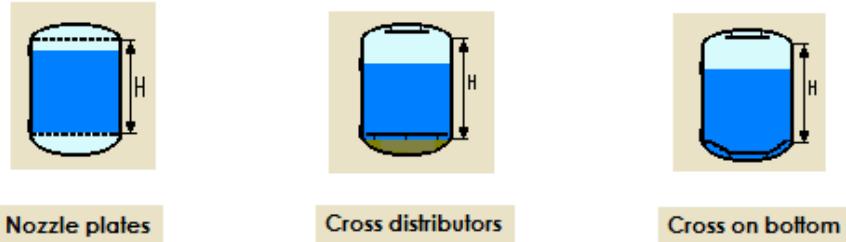


Figura 5.40: Tipos de recipientes para distribuir el agua

Dentro del cuadrado verde de la figura 5.39, hay 5 datos que se deben rellenar:

- “External vessel diameter”: Diámetro externo del recipiente.
- “Wall thickness”: Espesor de la pared.
- “Area”: Área.
- “Height between plates (H)": Altura entre platos, es la altura representada como H en la figura 5.37.
- “Available volumen”: Volumen disponible del recipiente.

Al introducir los datos en los cuadros blancos, en los cuadros rosas y azules aparece la medida, en este caso del área y del volumen disponible, para realizar otra medida clicar en “Next”. Para salir clicar en “Save & Exit” y se guardará y saldrá de la ventana de las medidas de los recipientes.

- “Edit vessel dimensions”: Esta es la segunda opción de la herramienta “Custom vessel list” y sirve para editar las dimensiones del recipiente. Funciona exactamente igual que la opción anterior pero para un único recipiente y sin marcar la opción de cambiar el volumen de la resina (figura 5.41). La diferencia con la opción anterior es que para acceder a la información de los cuadros a llenar en vez de clicar “Start” hay que darle a “Display”, el resto funciona igual.

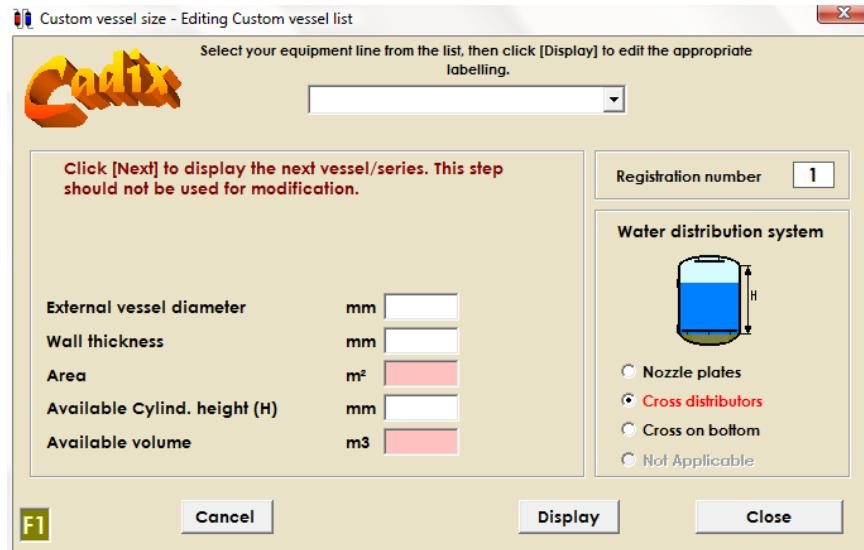


Figura 5.41: Ventana para editar las medidas del recipiente

- **“Modify vessel dimensions”**: La tercera opción es modificar las dimensiones del recipiente. Al igual que el apartado anterior (figura 5.41), aunque se debe seleccionar en el cuadro de arriba una lista de recipientes ya creada y modificar los valores que se desee que estén dentro de los cuadros blancos.
- **“Delete vessel dimensions”**: Borrar las dimensiones del recipiente. La ventana para borrar las dimensiones del recipiente se muestra en la figura 5.42, en el cuadro de arriba se elige un archivo de recipientes ya guardado con anterioridad, una vez seleccionado presionar “Delete” para borrarlo.



Figura 5.42: Ventana para borrar las dimensiones del recipiente

El texto rojo mostrado a la izquierda de la figura 5.42 avisa que cualquier archivo borrado es enviado a la papelera de reciclaje, por tanto mientras no se vacíe la papelera se puede recuperar el archivo. Por último avisa que no se puede utilizar el mismo nombre para crear un nuevo archivo.

5) **Default water analysis (Análisis de agua predeterminado)**

Dentro de “Default water analysis”, es decir, análisis de agua a tratar predeterminado (figura 5.43), es la quinta herramienta que aparece en la cabecera. Muestra 5 opciones diferentes que se describen a continuación.

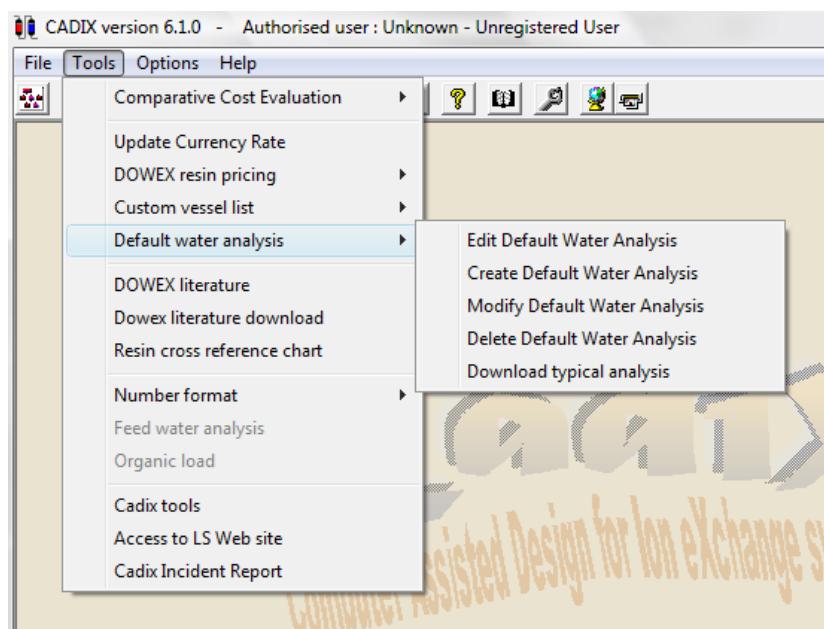


Figura 5.43: Menú desplegable de “Default water analysis”

- “Edit Default Water Analysis”: editar el análisis de agua por defecto. Al seleccionar esta opción aparece la ventana mostrada en la figura 5.44, que muestra los valores por defecto de la composición del agua de un grifo convencional que tiene ya incluidos el programa, desde ésta opción no se pueden cambiar los valores.

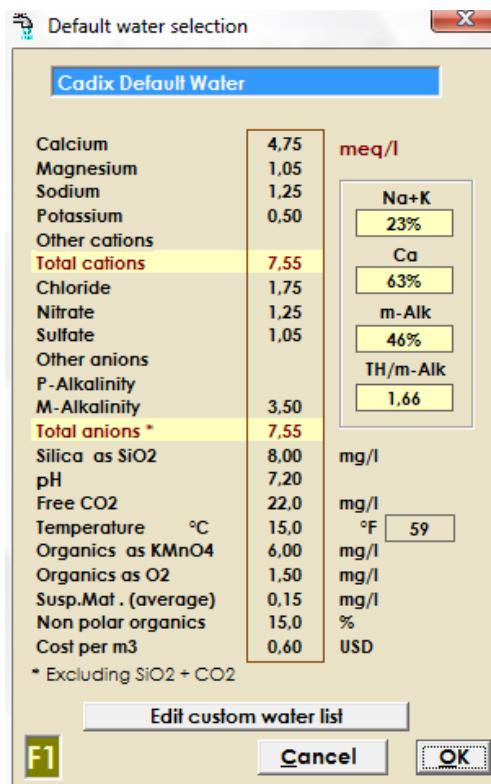


Figura 5.44: Ventana de selección del análisis de agua por defecto

- “Create default Water Analysis”: crear el análisis de agua por defecto. Al seleccionar esta opción aparece la ventana de la figura 5.45 en la cual se pueden introducir los valores del agua de alimentación.

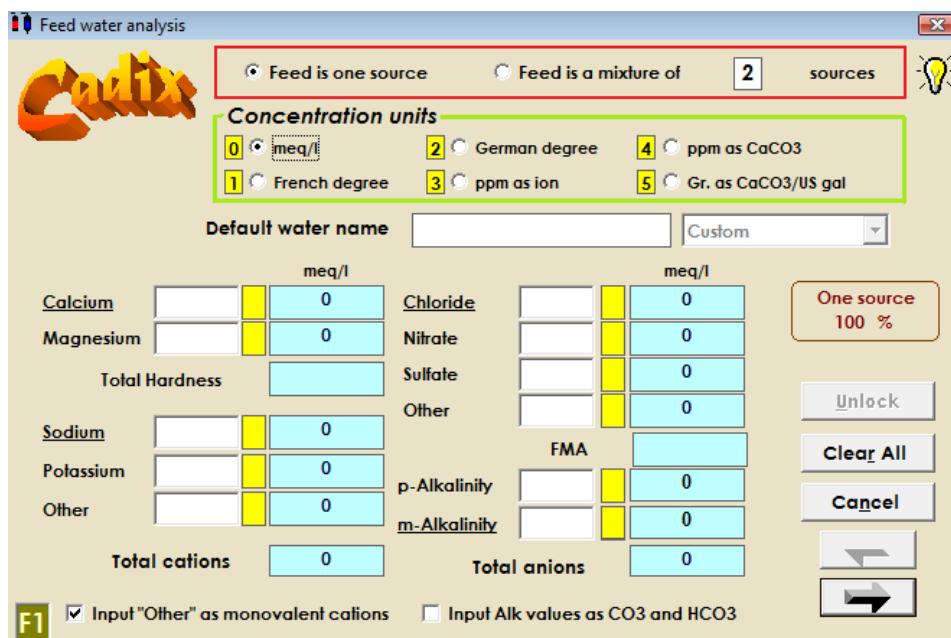


Figura 5.45: Análisis del agua de alimentación

Dentro del cuadro rojo de la figura 5.45 hay dos opciones para seleccionar:

- “Feed is one source”: una fuente de alimentación.
- “Feed is a mixture of”: la alimentación es una mezcla. Si se selecciona esta opción aparecerá debajo un cuadro como el mostrado en la figura 5.46, en la cual se debe poner el caudal (m^3/h) en cada una de las corrientes y debajo en el porcentaje (%) que supone cada corriente respecto a la alimentación total. En la derecha pondrá el caudal total de la alimentación y el porcentaje (%) de ésta, que siempre será del 100%. Cuando se hayan completado las corrientes que forman la alimentación, que por defecto son dos, clicar en “Ok”.

<input checked="" type="radio"/> Feed is one source	<input type="radio"/> Feed is a mixture of	2	sources	
Source 1 2 3 4 5				
m ³ /h	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total				
m ³ /h	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>	<input type="button" value="Ok"/>

Figura 5.46: Alimentación con varias corrientes mezcladas

En el cuadro verde de la figura 5.45 pide las unidades de la concentración de los compuestos, se debe seleccionar la que corresponda con las unidades de los valores que se vaya a introducir. Debajo del cuadro verde se debe introducir el nombre que se le da a la corriente de agua. A continuación se introducen los valores en las unidades seleccionadas en los cuadros blancos de cada compuesto. Para pasar al siguiente paso clicar en la flecha de abajo que apunta a la derecha.

En la parte inferior de la ventana de la figura 5.47, se deben introducir los datos que piden en las unidades dadas:

- “Silica as SiO₂”: Sílice como SiO₂.
- “pH”: pH de la alimentación, comprendido entre 4,5 y 11.
- “Free CO₂”: CO₂ libre, éste dato se puede introducir manualmente o bien lo puede calcular el programa pulsando en “Evaluate free CO₂” usando los valores de “pH” y la alcalinidad “m-Alkalinity”.
- “Temperature”: Temperatura, dentro del intervalo 4-40°C (excepto para el diseño de una planta de ablandamiento del agua que puede llegar a 90°C).
- “Organics as KMnO₄”: Productos orgánicos valorados con KMnO₄, que son ácidos orgánicos de gran peso molecular, muy perjudiciales para las resinas de intercambio iónico. Se ha demostrado que el agua previamente

tratada por membranas (ósmosis inversa, nanofiltración y/o ultrafiltración) no contiene materia orgánica que puedan afectar a la operación de un sistema de intercambio iónico, incluso aunque el valor de “Organics as KMnO₄” sea alto.

- “Organics as O₂”: Productos orgánicos como O₂ consumido, éste tipo de materia orgánica no es absorbida por las resinas, por lo tanto no presentan ningún tipo de peligro para éstas.
- “% non polar”: Porcentaje de compuestos no polares.
- “Suspended material (average)": Promedio de materia en suspensión
- “Cost of filtered & pretreated water feed to IX plant": Coste del agua filtrada de la alimentación y un tratamiento previo para la planta.

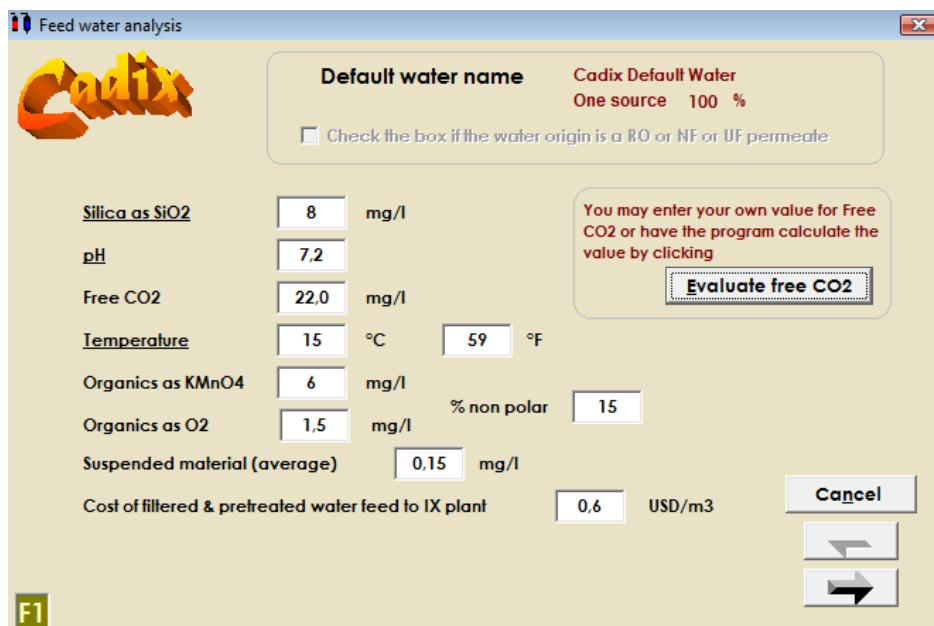


Figura 5.47: Paso dos del análisis de agua de la alimentación

Una vez completadas todas las casillas clicar en la flecha inferior que apunta a la derecha y ya se habrá creado una nueva corriente de agua de alimentación.

- “Modify Default Water Analysis”: modificar el análisis de agua dado por defecto. En ésta opción aparecen las mismas ventanas que en el apartado anterior de “Create Default Water Analysis” en la cual se pueden modificar los valores que se deseen, cambiándolos en las casillas correspondientes y dándole a las flechas de abajo que apuntan a la derecha para guardar los cambios.

- “Delete Default Water Analysis”: borrar el análisis de agua por defecto. Una vez seleccionada esta opción aparece la ventana mostrada en la figura 5.48, en la parte superior de ésta ventana hay un cuadro en azul, en el cual se debe elegir la corriente que se desee borrar y una vez seleccionada clicar en “Delete” para borrarla.

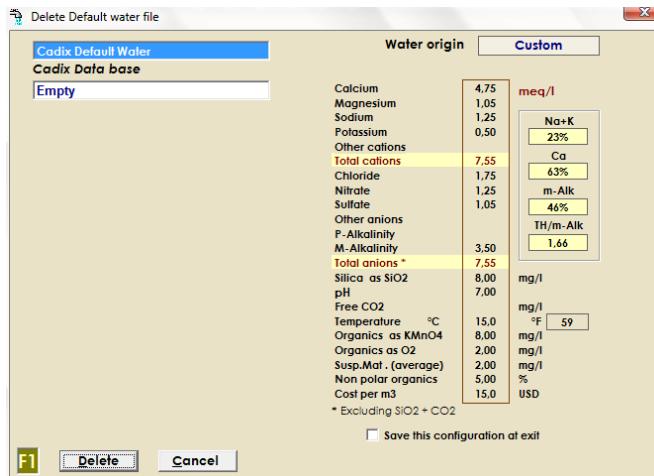


Figura 5.48: Ventana para borrar los datos de la corriente de alimentación

- “Download typical analysis”: descargar el análisis típico. Ésta opción permite descargarte la composición del agua de diferentes ríos o lagos del mundo, que están incluidos en la lista de la base de datos de CADIX. Desde la ventana de la figura 5.49 se seleccionan los ríos o lagos que se quiera a la izquierda y se le da a “Add” para añadirlas a nuestro programa, una vez añadidas todas las que se quieran pulsar “Ok” para confirmar y salir.

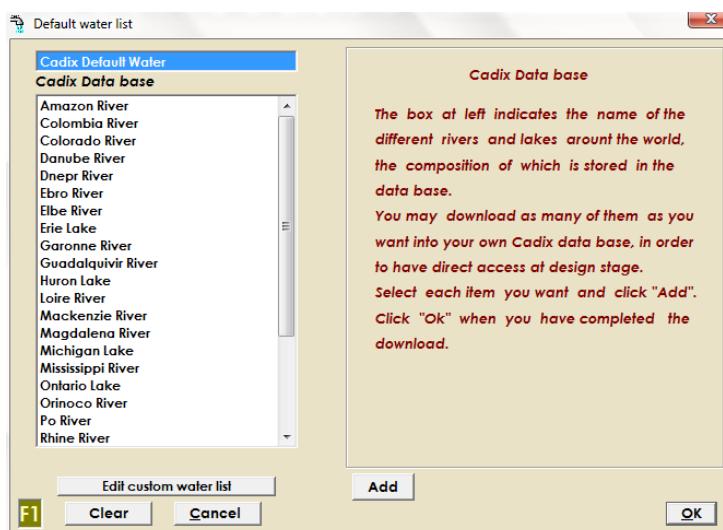


Figura 5.49: Bases de datos de diferentes ríos y lagos del mundo

6) *DOWEX literature (Librería de DOWEX)*

Es la sexta herramienta de la pestaña “Tools” (figura 5.22) y permite leer archivos relacionados con diferentes temas de DOWEX en Acrobat Reader (figura 5.50), para ello se deben de tener archivos de lectura descargados de la página web, si no se tienen, no aparecerá ningún archivo en la carpeta “lechdata” dedicada para ello. Para descargar lecturas se hace desde el menú que se va a explicar a continuación, y para abrir una lectura desde ésta ventana se hace doble clic en el archivo que se quiera leer.

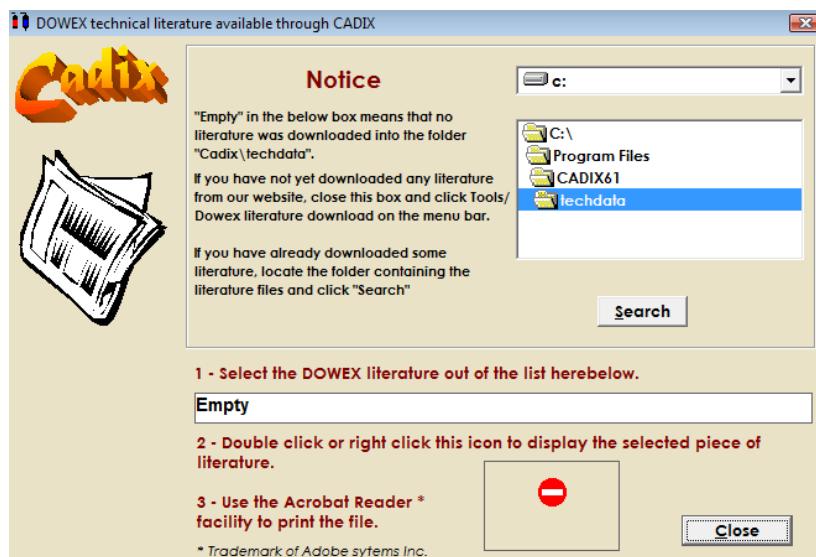


Figura 5.50: Librería DOWEX

7) *Dowex literature download (Descarga de librería Dowex)*

La descarga de librería Dowex permite descargarse textos para leer en el Acrobat Reader desde la opción anterior. Lo primero que aparece al seleccionar esta opción es la ventana mostrada en la figura 5.51, que informa de que si se pulsa “Aceptar” se accederá a la página web de *Dow Water Solutions*, la literatura de DOWEX es compatible con el formato pdf y si se quiere se puede manejar la literatura desde CADIX. La descarga de cada elemento se guarda en la carpeta Cadix\Techdata. Pulsar “Aceptar” para continuar.

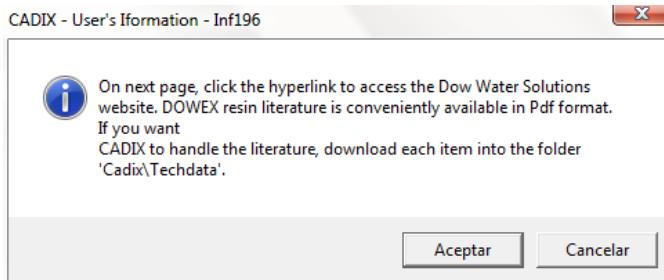


Figura 5.51: Descargar librería Dowex

La siguiente ventana que aparece solo es compatible para los sistemas operativos que se describen en el menú ayuda (“Help”) y se muestra en la figura 5.52. A partir de la página web que está dentro del recuadro rojo se accede a la página web de “Dow Water Solution” a través de la cual se pueden descargar las lecturas de Dowex.

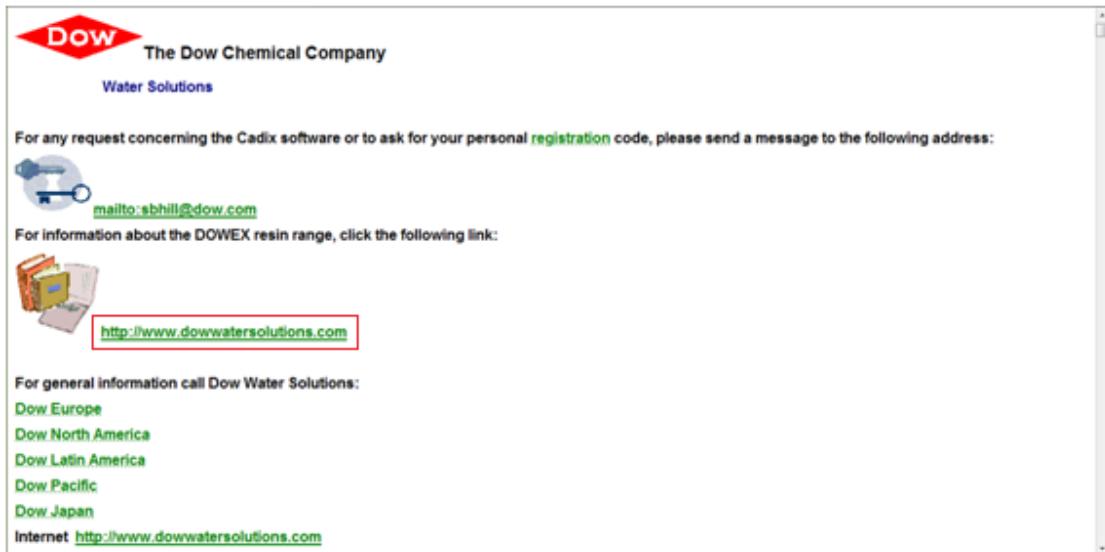


Figura 5.52: Información sobre la descarga de librería Dowex

8) Resin cross reference chart (Tabla de referencias de resinas)

A través de ésta opción de la pestaña “Tools” se puede acceder a una tabla que proporciona información acerca de los distintos tipos de resinas, tal como se muestra en la figura 5.53. En la parte inferior de la imagen hay distintas letras en color verde claro que permiten acceder a otros tipos de resinas clicando en ellas.

I-X resins cross-reference chart - Uniform Particle Size resins				
Resin Type	DOW CHEMICAL	ROHM & HAAS	BAYER	PUROLITE
		AMBERJET	MONOPLUS	PUROFINE
Strong Acid Cation	MARATHON C	1200	VP OC 1800	C-100 EF
	MARATHON C-10	1500	VP OC 1812	
	MONOSPHERE 650C	1500	VP OC 1812	
	MONOSPHERE 575C			
	MARATHON MSC			
Strong Base Anion	MARATHON A	4200	VP OC 1950	A-400
	MARATHON A LB			
	MARATHON MSA		VP OC 1955	
	MARATHON 11			
	MONOSPHERE 550A	4400		
		4300		
	MARATHON A-2	4600	VP OC 1960	A-300
Weak Base Anion	MARATHON WBA		VP OC 1094	
	MARATHON WBA-2			

Similar tables are available for polydispersed (as opposed to UPS) [Strong Acid Cation](#), [Weak Acid Cation](#), [Strong Base Anion](#) and [Weak Base Anion](#) exchange resins.

Figura 5.53: Tabla de referencias de resinas

9) Number format (Formato de número)

Según el formato de número se permite abrir archivos CADIX que hayan sido guardados con otras versiones del programa, si el usuario solo tiene una versión de CADIX, en éste manual solo se utiliza la versión 6 del programa, no será necesario que modifique esta opción. Ver la imagen de “Number format” en la figura 5.54.

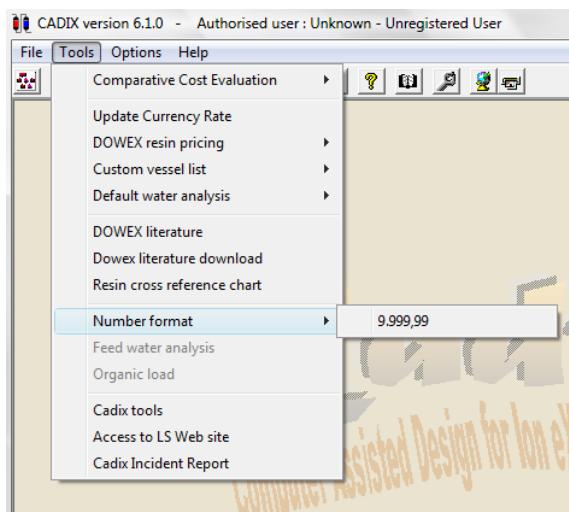


Figura 5.54: Menú desplegable de “Number format”

10) Feed water analysis (Análisis del agua de la alimentación)

Esta opción solo se puede utilizar cuando se está realizando un proyecto, permite ver la composición del agua de la alimentación, aparece en una ventana como la mostrada en la figura 5.55.

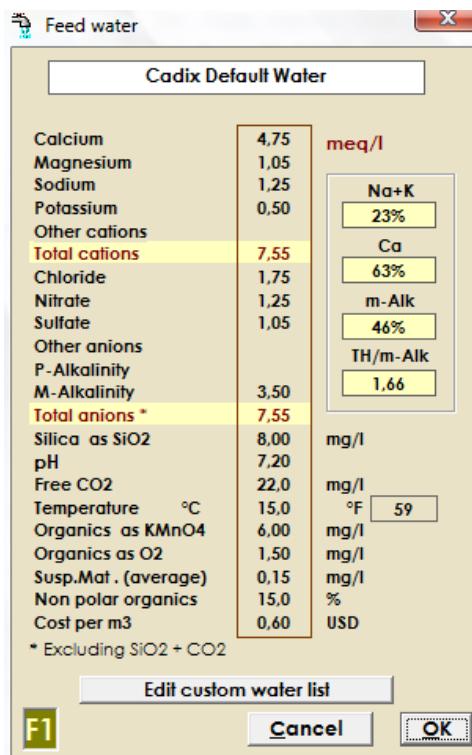


Figura 5.55: Análisis del agua de alimentación

11) Organic load (Carga orgánica)

Desde ésta opción se puede ver la carga orgánica que tiene el agua de alimentación a través de la ventana mostrada en la figura 5.56.



Figura 5.56: Carga orgánica del agua de alimentación

12) Cadix tools (Herramientas de Cadix)

En este menú se encuentran 4 herramientas útiles que pueden ser necesarias para la realización del proyecto como son: calculadora, conversión de unidades, función restauradora y un recipiente medidor, esté submenú dentro de “Cadix tools” se puede ver en la figura 5.57.

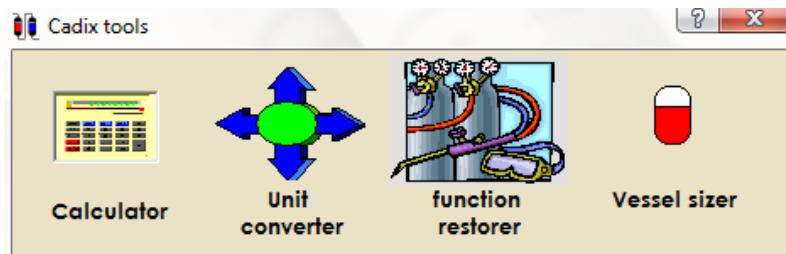


Figura 5.57: Herramientas de CADIX

Cada una de las 4 opciones se explican a continuación:

- “Calculator”: calculadora, ésta función no está realizada por el programa CADIX, sino que es un enlace al programa de Windows (figura 5.58).

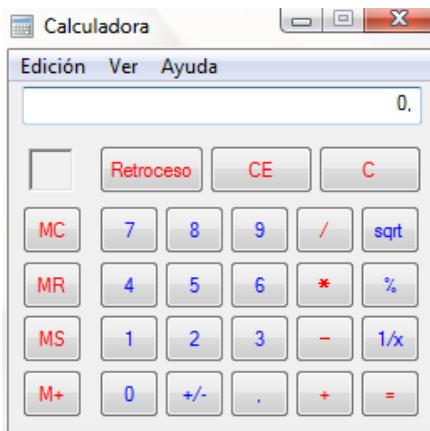


Figura 5.58: Calculadora de Windows

- “Unit converter”: conversor de unidades (figura 5.59).

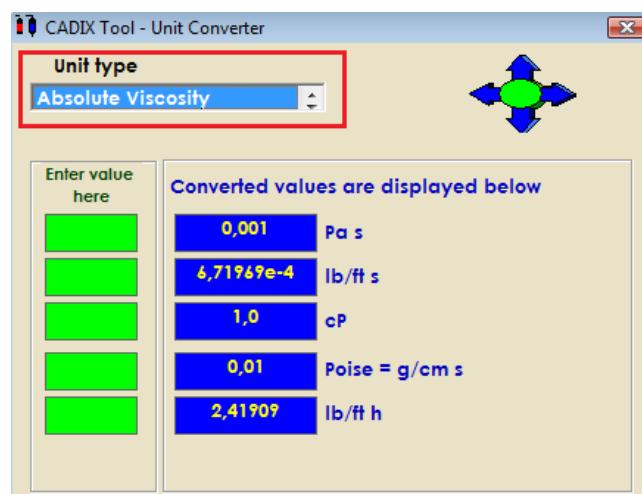


Figura 5.59: Conversión de unidades

Dentro del recuadro rojo dándole a las flechas hacia arriba o hacia abajo se cambia la variable para la que se quiere cambiar de unidades, en este caso está escrito por defecto viscosidad absoluta por tanto aparecen unidades como Pa·s, cP.... En los cuadros azules aparece el valor según la unidad que haya escrita a la derecha, al abrir la aplicación aparece por defecto 1 cP y el resto de unidades en base a eso, es decir que 1 cP son 0.001 Pa·s. Por último en los recuadros verdes se mete el valor de la unidad que se quiera cambiar, si por ejemplo si se escribe 3 cP en el cuadro verde de la izquierda, y aparecen las cifras correspondientes en otras unidades como se muestra en la figura 5.60.

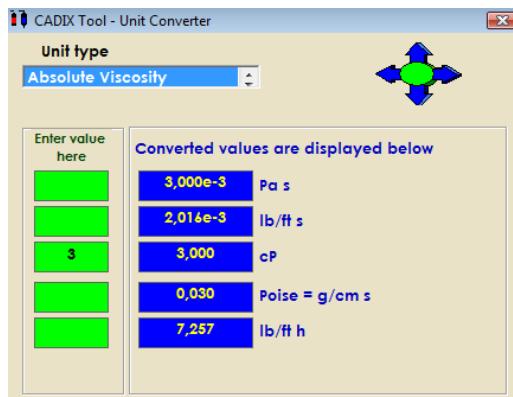


Figura 5.60: Ejemplo de la conversión de unidades

- “Function restorer”: función restauradora, dentro de ésta opción hay diferentes funciones que se pueden restaurar (figura 5.61), se selecciona las funciones que se quieran y seguido presionar en “Ok” para confirmar y salir de la ventana, en la mayoría de los casos los cambios se efectuarán al volver a iniciar el programa.

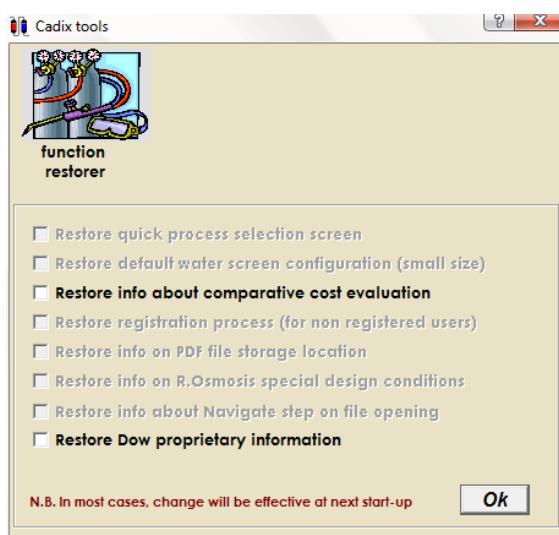


Figura 5.61: Ventana de la función restauradora

En concreto son 8 las funciones que se pueden restaurar, pero solo permite modificar dos:

- “Restore into about comparative cost evaluation”: realizar la restauración sobre la evaluación comparativa de costes.
- “Restore Dow proprietary information”: restaurar la información de propiedad de Dow.
- “Vessel sizer”: la traducción literal es recipiente medidor, con esto se refiere a que introduciendo el diámetro o área, el peso o volumen de la resina y el caudal se obtienen datos acerca del recipiente, la resina y la velocidad de flujo (figura 5.62).

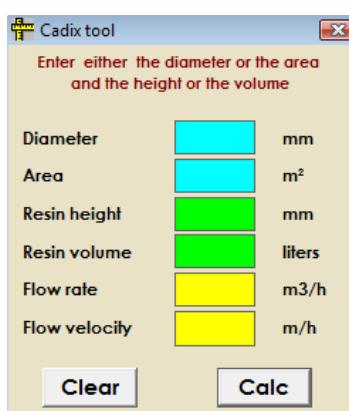


Figura 5.62: Recipiente medidor del programa CADIX

La frase que está escrita en color rojo dice que hay que meter el diámetro o el área, el volumen o peso de la resina y el caudal para obtener los 3 datos que no hayan sido completados, por ejemplo si se introduce el diámetro, el peso de la resina y el caudal se obtendrán el área, el volumen de la resina y la velocidad de flujo. Una vez introducidos los tres datos que pide, clicar en “Calc” y calculará los datos, para un nuevo cálculo de flujo darle a “Clear” y limpiara los datos introducidos con anterioridad para poder introducir nuevamente los nuevos datos.

Cada cuadro azul, verde y amarillo proporciona información acerca de:

- “Diameter”: Diámetro.
- “Area”: Área.
- “Resin height”: Peso de la resina.
- “Resin volumen”: Volumen de la resina.
- “Flow rate”: Caudal.
- “Flow velocity”: Velocidad de flujo.

13) Acces to LS Web site (Acceso a la página web de LS)

A través de esta opción se llega a la misma ventana que la de “Dowex literatura download” de la cabecera principal en “Tools”. En dicha ventana aparece la dirección web para poder acceder a la página pinchando sobre ella.

14) Cadix Incident Report (Informe de incidente de Cadix)

Esta función sirve para informar de cualquier problema que encuentre en CADIX, de forma que aparece una ventana como la mostrada en la figura 5.63, que informa que en el paso siguiente, se mostrará un archivo de Excel (TM) de hoja de cálculo que puede ser completado y enviado por correo electrónico a Dow, pero solo está disponible si la versión apropiada de Excel está instalada en su ordenador. Utilice la función de impresión de Excel para enviar el informe. Si desea continuar pulsar “Sí” en caso contrario clicar en “No”.

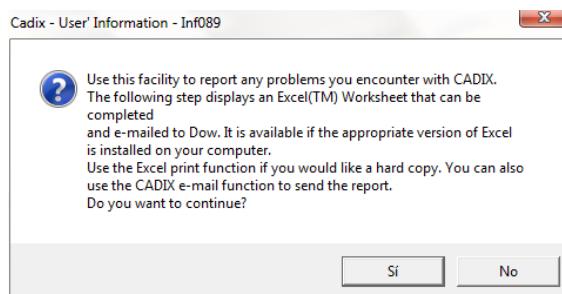


Figura 5.63: Advertencia para el informe de incidente de CADIX

5.1.3. Options (Opciones)

A través del menú desplegable de opciones, figura 5.64, se puede acceder a distintas aplicaciones descritas a continuación:

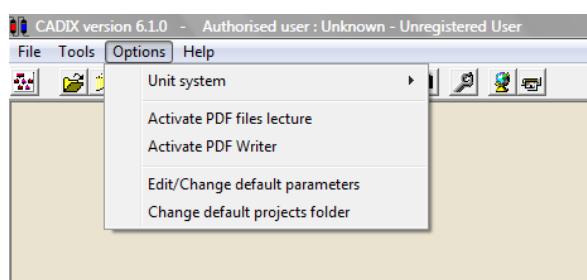


Figura 5.64: Menú desplegable de “Options”

1) **Unit system (Sistema de unidades)**

Dentro de éste menú muestran dos opciones: “Metris Unit System” (sistema métrico europeo) y “US Unit System” (sistema de EEUU o inglés), cliclando encima de ellos se selecciona el sistema de unidades que se desee utilizar (figura 5.65).

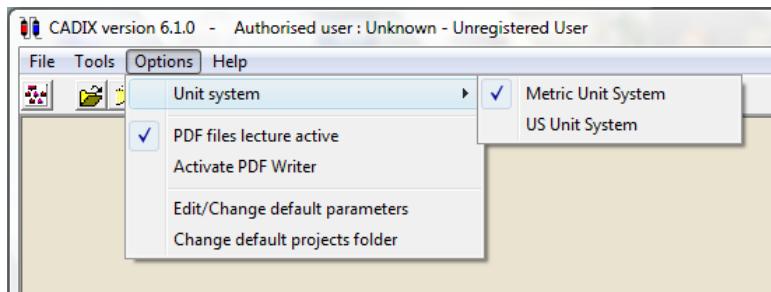


Figura 5.65: Opciones de “Unit system”

2) **Activate PDF files lecture (Activar la lectura de archivos pdf)**

Pinchando encima de esta frase se activa la lectura de archivos pdf y queda marcado en la izquierda, volviendo a pinchar encima se va la marca y se desactiva la lectura de archivos pdf, como se muestra en la figura 5.66.

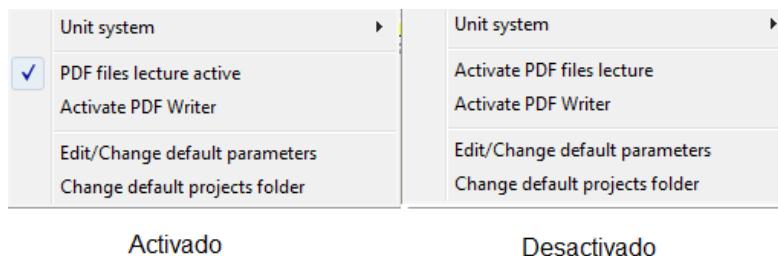


Figura 5.66: Activación/desactivación de la lectura de archivos pdf

3) **Activate PDF Writer (Activar el escritor de pdf)**

Este menú funciona exactamente igual que el anterior, clicando encima se activa o se desactiva según aparezca o desaparezca el tick respectivamente. En este caso lo que se activa es el escritor de pdf, para ello es necesario disponer de uno, en caso contrario no se podrá activar y permanecerá siempre desactivado incluso aunque se clique en él. En éste último caso aparecerá una ventana, mostrada de la figura 5.67, en la cual informan de que el programa es incapaz de encontrar un escritor pdf en su

ordenador y que por favor seleccione uno de forma manual en: File/Print setup/Printer selection.

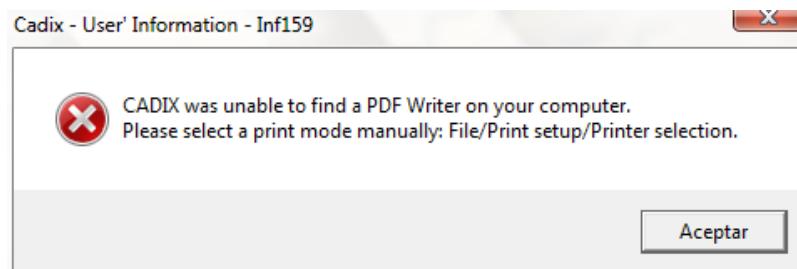


Figura 5.67: No se encuentra escritor pdf

4) *Edit/Change default parameters (Editar/modificar parámetros predeterminados)*

Presionando esta opción de editar/modificar parámetros predeterminados aparece, lo primero, un cuadro de advertencia, figura 5.68, que advierte de que los datos utilizados por CADIX como valores por defecto en los siguientes pasos, se pueden cambiar para personalizar los datos que se desee, teniendo en cuenta que CADIX no controla su entrada.

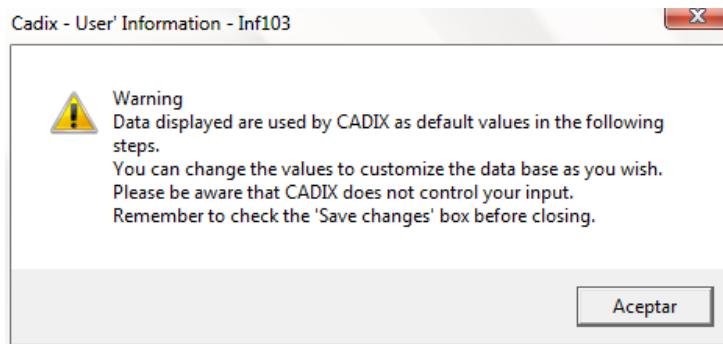


Figura 5.68: Cuadro de advertencia

Después de aceptar la advertencia anterior aparecerán 3 páginas de datos escritos por defecto por el programa que se pueden cambiar en caso de que no coincida con los datos que quiera el usuario. Para cambiar de una página a otra se hace desde las flechas que hay en la parte inferior derecha que se muestra en la figura 5.69.

Default parameters ----- Page 1

Regeneration dosage as 100%			Regen. ratio to stoichio		
Water demineralization			Water deAlkalization on SBA		
SAC co-flow HCl	g/l 80	SBA co-flow NaCl	g/l 100	[WAC] alone % 110	
SAC co-flow H ₂ SO ₄	g/l 150	SBA reverse-flow NaCl	g/l 100	Overall [WAC] - [SAC] % 110	
SAC reverse-flow HCl	g/l 50	Scavenger regeneration		Overall [WAC SAC] % 120	
SAC reverse-flow H ₂ SO ₄	g/l 75	SBA co-flow NaCl alone	g/l 250	[WBA] alone * % 110	
SBA co-flow NaOH	g/l 80	SBA co-flow NaCl (+ NaOH)	g/l 200	Overall WBA + SBA * % 110	
SBA reverse-flow NaOH	g/l 40.0	SBA co-flow NaOH	g/l 24.0	* with no organics Silica load on LBA to switch to stepwise reg. g/l SBA 7.00	
Water softening			Electro-plating rinse recycling		
SAC co-flow NaCl	g/l 150	SAC co-flow HCl	g/l 100	Safety coeff. on capacity	
SAC reverse-flow NaCl	g/l 100	SAC co-flow H ₂ SO ₄	g/l 150	SAC coefficient 0.95	
Water deAlkalization + Softening			SAC reverse-flow HCl	g/l 65	WAC coefficient 0.95
SAC [WAC SAC] NaCl	g/l 240	SAC reverse-flow H ₂ SO ₄	g/l 90	SBA coefficient 0.95	
Nitrate removal			SBA co-flow NaOH	g/l 100	WBA coefficient 0.95
SBA co-flow NaCl	g/l 250	SBA reverse-flow NaOH	g/l 65	Working MB coefficient 0.70	
SBA reverse-flow NaCl	g/l 100				

Figura 5.69: Página 1 de los parámetros predeterminados.

Por último, una vez realizados los cambios, hay que marcar el cuadrado que hay dentro del recuadro naranja de la figura 5.70 que pone “Save changes at exit”, es decir, guardar cambios al salir, una vez guardados los cambio darle a “Close” para cerrar la ventana de parámetros predeterminados.

Default parameters ----- Page 3

Plant characteristics			Condenser In-leakage	
Net flow rate	m ³ /h 100	Iron as Fe	mg/l 0.020	N.A.
Numer of lines	2.00	Hydrazine	mg/l 0.10	N.A.
Nber lines at same time	2.00	Condensate flow	m ³ /h 350	N.A.
Time between 2 regen.	h 12.0	N.A.		
Condensate polishing			N.A.	
pH condensate	9.40	Ave Conductivity	μS/cm 0.060	N.A.
Temperature	°C 45.0	Max Conductivity	μS/cm 0.10	N.A.
Temperature	°F 113	Avge Silica as SiO ₂	mg/l 0.0050	N.A.
Acid conductivity	μS/cm 2.50	Max silica as SiO ₂	mg/l 0.010	N.A.
TDS as NaCl	mg/l 0.36	Max. crud load, as Fe	g/l 1.50	N.A.
Ammonia (NH ₃)	mg/l 1.20	N.A.		
Silica as SiO ₂	mg/l 0.025	N.A.		
Total cations	meq/l 0.080	N.A.		
Total anions	meq/l 0.0070	N.A.		
<input type="checkbox"/> Save changes at exit				

Figura 5.70: Página 3 de los parámetros predeterminados

5) Change default projects folder (Cambiar la carpeta predeterminada de proyectos)

Para cambiar la carpeta dónde se guarden los proyectos, es necesario cambiarla desde éste menú. Abriéndolo aparece la ventana de la figura 5.71.

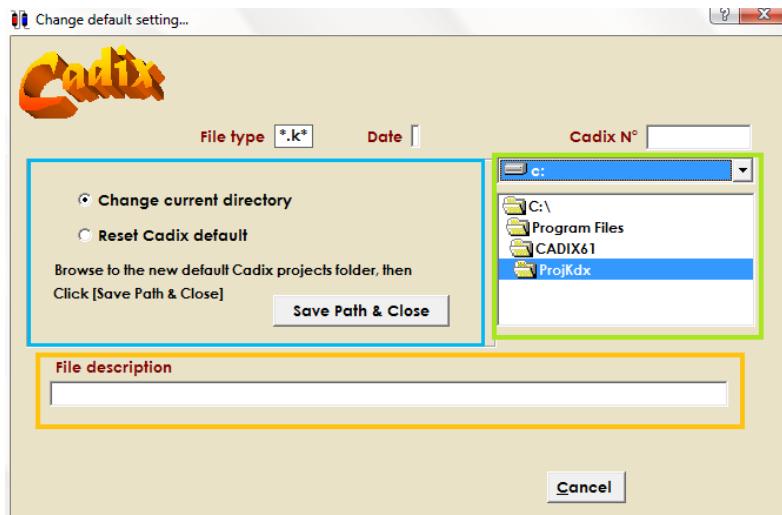


Figura 5.71: Cambiar la carpeta de proyectos predeterminada

Se elige la carpeta que se quiera desde el recuadro verde, una vez seleccionada presionar en “Save Path & Close” para guardar y cerrar, en caso de querer volver a restablecer la carpeta predeterminada de CADIX selecciona “Reset Cadix default” todo esto dentro del recuadro azul. También se puede poner una descripción del archivo en “File description” dentro del cuadro naranja. En caso de querer cancelar la operación se seleccionará “Cancel”.

5.1.4. Help (Ayuda)

En este menú se encuentran ayudas e información para cualquier duda o problema que surja sobre el programa CADIX (figura 5.72).

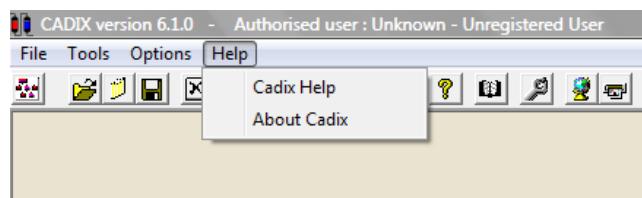


Figura 5.72: Menú desplegable de “Help”

1) Cadix Help (Ayuda de Cadix)

Desde esta opción se pueden resolver las dudas que se tengan, para poder acceder a este menú hay que tener un determinado sistema operativo, sino no aparecerá la ventana de ayuda.

Si no puede el usuario acceder al menú de ayuda y tiene de sistema operativo Windows 7, se puede descargar dicho menú para que le sea compatible con su sistema operativo y pueda acceder a la ayuda. La aplicación para descargársela se encuentran en la misma página de descarga del programa CADIX (figura 5.73):

http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/cadix.htm

The CADIX program (Computer Assisted Design for Ion exChange) is a comprehensive ion exchange engineering tool for system design and evaluation of existing plant performance. CADIX allows design of both co-flow and counter-flow regenerated systems for softener and demineralization applications using DOWEX™ ion exchange resins.

CADIX allows an economic comparison of co-current and counter-current regeneration for your particular system. CADIX also provides details on the benefits of the [UPCORE™ counter-current regeneration system](#) for your plant.

CADIX 6.2 is now available for download with the same features as version 6.1, including easier navigation and increased flexibility in making plant designs. CADIX 6.2 has been updated for more optimum installation with the WINDOWS® 7 operating system. As the technical content of the program is unchanged, CADIX 6.1 users do not need to convert to CADIX 6.2 at this time.

- [Download CADIX version 6.2 \(6.05 MB\) \(March 12, 2012\)](#)
- [Installation Instructions \(146KB PDF\)](#)
Detailed instruction on how to install CADIX
- [How to use CADIX \(950KB PDF\)](#)
Practical guidelines on using CADIX 6.2
- For WINDOWS® 7 users, a Microsoft® update (msu) is required in order to install the CADIX Help file:
[Update for 32-bit WINDOWS 7 operating systems \(688KB\)](#)
[Update for 64-bit WINDOWS 7 operating systems \(702KB\)](#)
- Register
Customers who currently purchase DOWEX resins are invited to register with us to obtain further design options such as dealkalization, nitrate removal, condensate polishing, and RO permeate mixed bed. To obtain a keycode for these advanced features, please [contact us](#).
- Support
[ANSWER CENTER](#) for download support on CADIX, or [send us your question](#).

Figura 5.73: Descarga del menú ayuda para Windows 7

En la figura 5.73, se puede ver que hay dos aplicaciones para descargar, una para un sistema operativo de 32 bits y otra para 64 bits, dependiendo del ordenador que se tenga será uno u otro.

La ventana de ayuda del programa tiene un aspecto como el de la figura 5.74. Dentro de ésta ventana lo más útil para resolver las dudas es el apartado recuadrado de rojo de dicha figura llamado Índice. Dentro del apartado Índice, aparecen diferentes palabras relacionadas con el programa (figura 5.75), seleccionando una de ellas, aparece la información oportuna para indicar su significado.

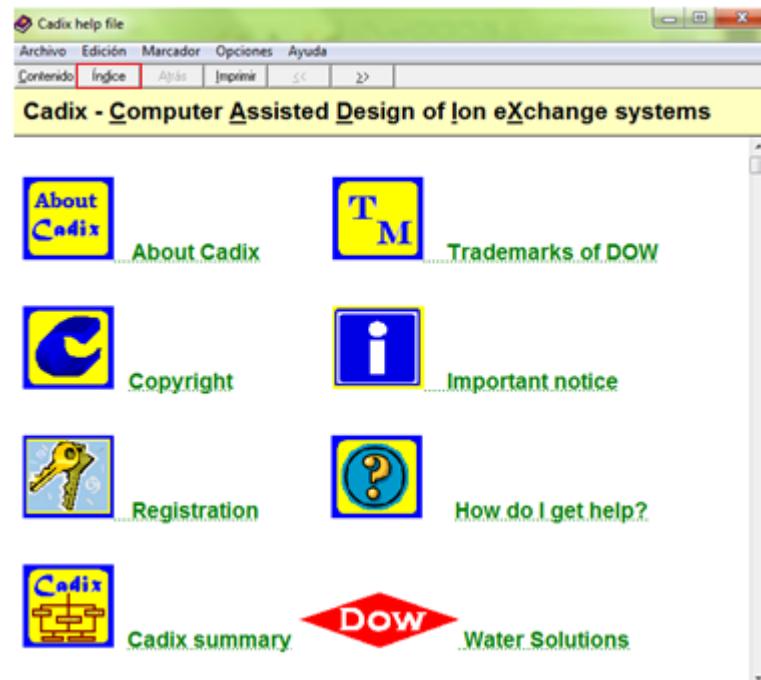


Figura 5.74: Ventana de ayuda de CADIX

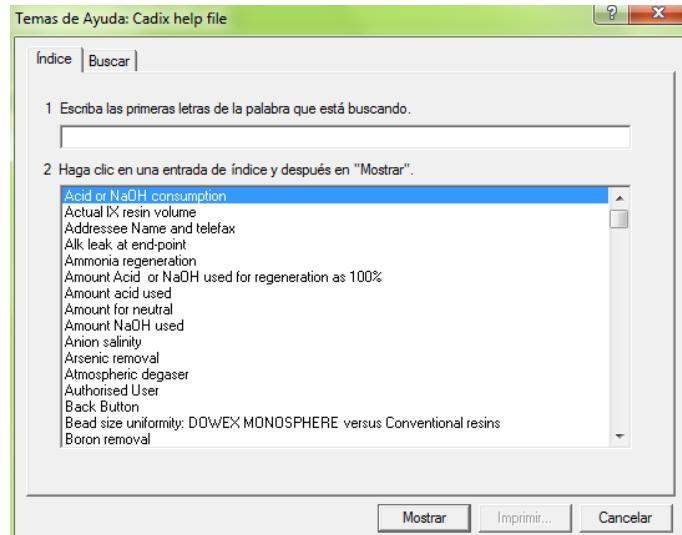


Figura 5.75: Índice dentro del menú ayuda de CADIX

2) **About Cadix (Sobre Cadix)**

Al clicar en “About Cadix” se accede a la información mostrada en la figura 5.76, que informa sobre Cadix, quienes son los creadores, avisa de que no está permitido copiar y distribuir el programa.

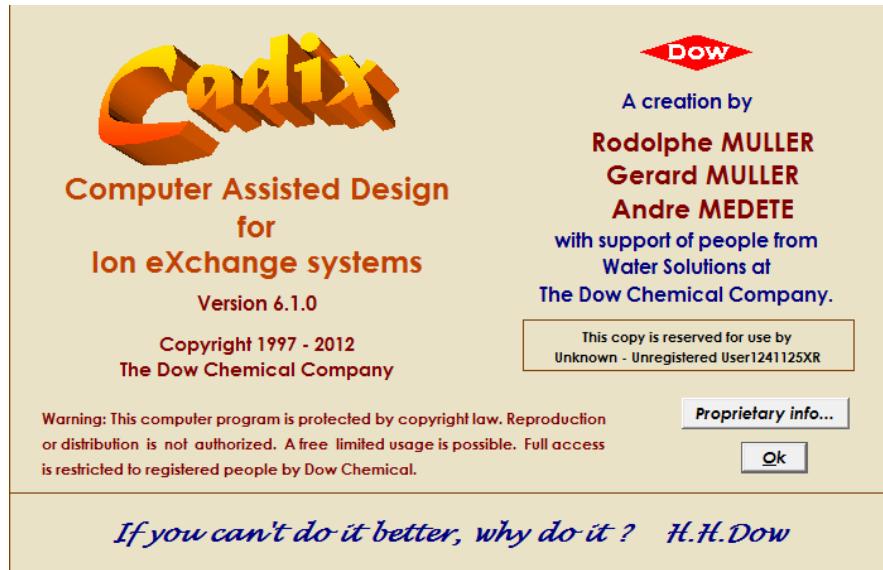


Figura 5.76: Información sobre Cadix

En los cuadros grises de la figura 5.76, si se le da a “Ok” se sale de esa pantalla, si se le da a “Proprietary info...” se accede a otra ventana en la cual dan información más detallada sobre el propietario del programa, para salir de esta ventana y volver a la anterior se le da en el cuadro gris de la nueva ventana, figura 5.77, que dice “Close”, es decir, cerrar.

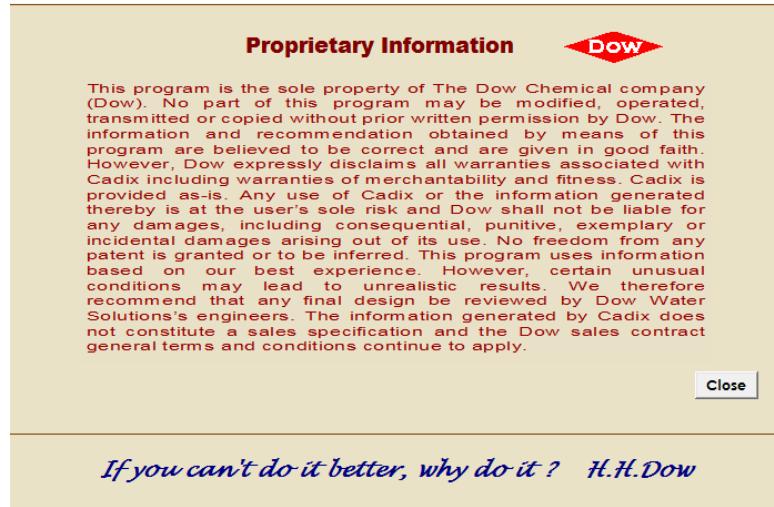


Figura 5.77: Información sobre el propietario de Cadix

5.2. Cabecera secundaria

En esta cabecera se encuentran los principales menús del programa, para poder acceder a ellos de manera fácil y rápida. En la figura 5.78 se pueden ver todos los iconos y cuál es su principal función.

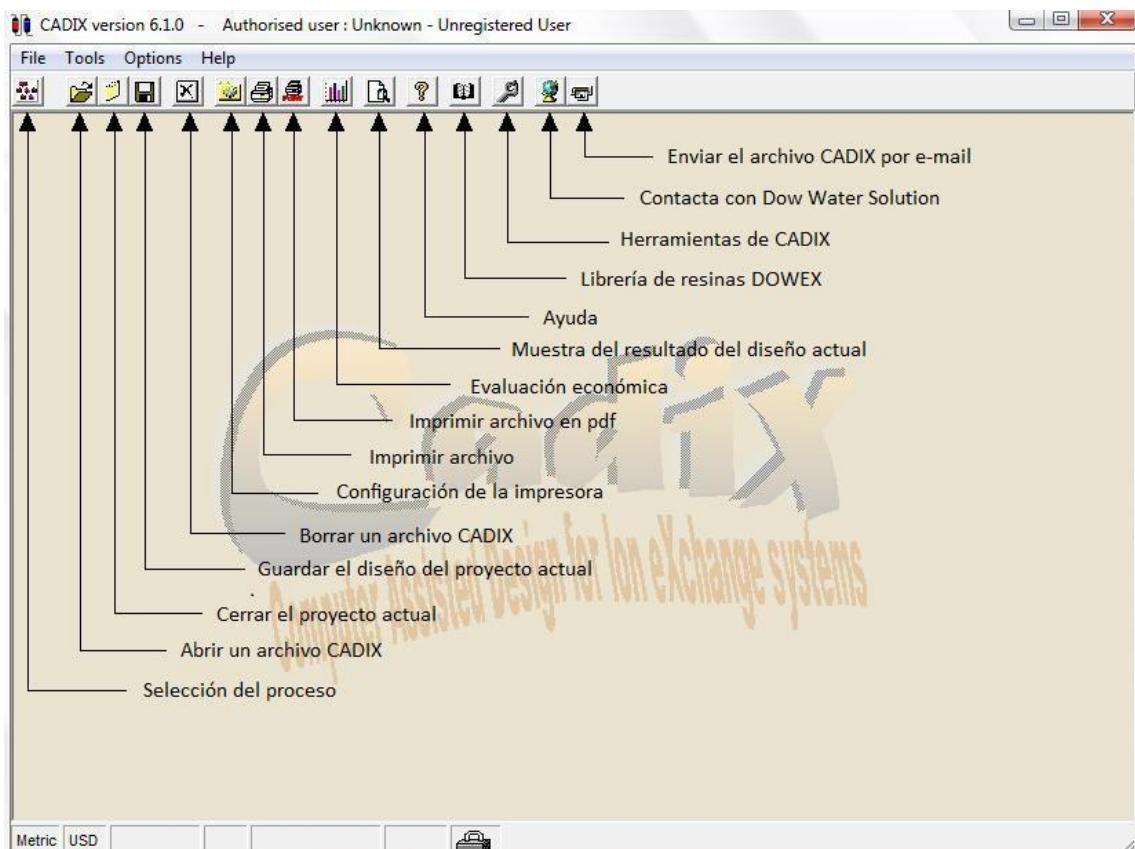


Figura 5.78: Iconos de la cabecera secundaria

Se van a describir los distintos menús de la cabecera secundaria, comenzando de izquierda a derecha:

 **Selección del proceso:** éste es el ícono a través de él se puede acceder a la selección del proceso para el proyecto que se quiera realizar. Desde esta sección se pueden realizar los distintos proyectos incluidos en el programa. Éste apartado ha sido explicado en el apartado 5.1.1 en “New project”.

 **Abrir un archivo:** esta opción permite abrir un archivo del programa CADIX, es decir, abrir un proyecto realizado por el programa. Pinchando en el ícono se abre la ventana mostrada en la figura 5.79, en la cual se elige en la parte derecha el archivo a

abrir se selecciona y se le da a “Open” (abrir), también está la opción de seleccionarlo y darle a “Delete” para eliminar el archivo, por último pulsando “Cancel” se cancela la apertura de archivos.

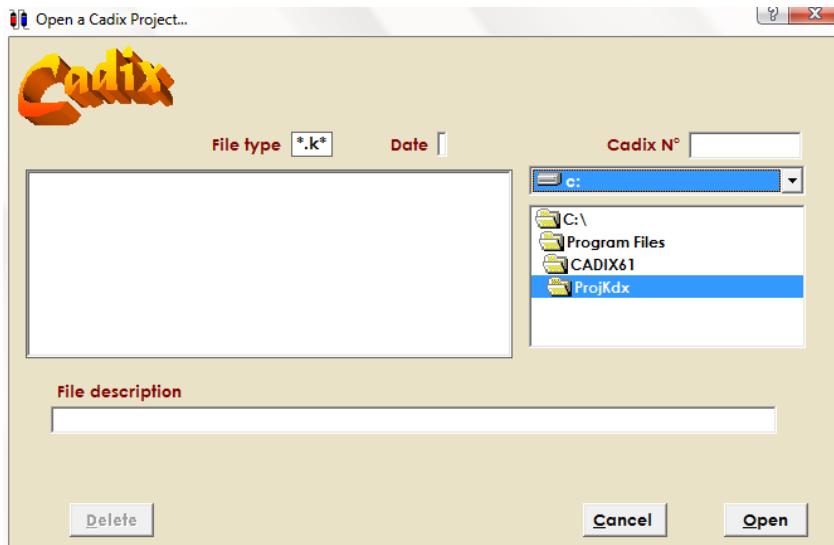


Figura 5.79: Apertura de archivos CADIX

 **Cerrar el proyecto actual:** si se quiere cerrar el proyecto actual se utiliza éste icono pinchando sobre él. En ese caso aparecerá una ventana, mostrada en la figura 5.80, que avisa de que se tenga cuidado ya que con éste icono se cerrará el proyecto actual, si se desea continuar y cerrar el proyecto seleccionar “Sí” en caso contrario presionar “No” y el proyecto seguirá abierto y disponible para continuar con su manejo.

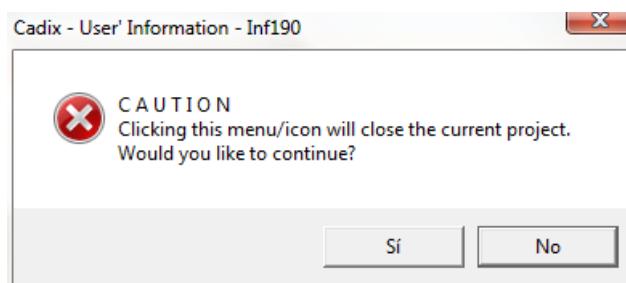


Figura 5.80: Advertencia para cerrar el proyecto

 **Guardar el proyecto actual:** clicando en el icono se guarda el proyecto que se esté realizando, ésta opción ha sido explicada en el apartado de cabecera principal en File/Save Project.

 **Borrar un archivo:** el siguiente icono sirve para borrar (archivo o proyecto actual), explicado en el apartado cabecera principal en File/Delete Project.

 **Configuración de la impresora:** desde este icono se puede acceder a la configuración de la impresora, es el mismo menú que el de la cabecera principal en el menú desplegable “File” la opción de “Print setup”, explicado anteriormente.

 **Imprimir archivo:** según los cambios realizados en la configuración de la impresora (ícono a su izquierda) se imprimirá el documento o documentos seleccionados. Si el proyecto no ha sido guardado con antelación saldrá un cuadro como el de la figura 5.81, informando de que el archivo no ha sido guardado y es recomendable antes de realizar el siguiente paso, si se quiere guardar el archivo antes de imprimirlo darle a “Sí” en caso contrario a “No” y el archivo será impreso sin haber sido guardado.

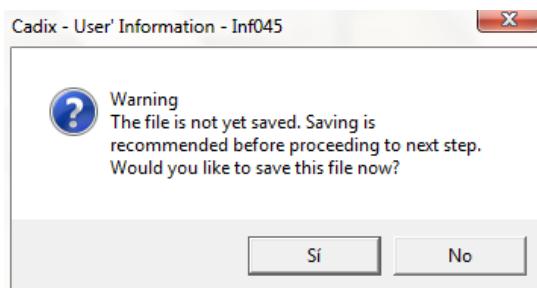


Figura 5.81: Aviso para guardar el proyecto antes de imprimir

 **Imprimir archivo pdf:** para imprimir un archivo en pdf es necesario tener un escritor pdf, sino, no será posible y aparecerá la ventana de la figura 5.82, en la cual se informa que el programa es incapaz de encontrar un escritor pdf en su ordenador y que se seleccione uno de forma manual en: File/Print setup/Printer selection.

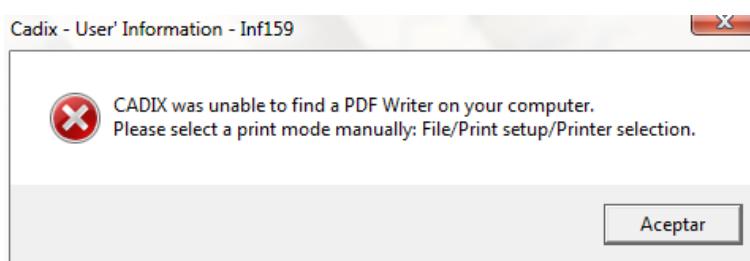


Figura 5.82: No se encuentra escritor pdf

 **Evaluación económica:** en éste menú se puede obtener una evaluación económica del proyecto realizado, introduciendo el coste de los reactivos utilizados. Es la misma opción que hay si desde la cabecera principal se selecciona "Tools"/"Comparative Cost Evaluation"/"Start Cost evaluation", éste apartado ha sido explicado anteriormente.

 **Muestra del resultado:** este ícono muestra el resultado del proyecto que este abierto en ese momento.

 **Ayuda:** en éste menú está la ayuda sobre el manejo del programa. Dependiendo del sistema operativo que se tenga en el ordenador no dejará verlo ya que no es compatible con los nuevos sistemas operativos.

 **Librería de resinas DOWEX:** clicando en esta opción permite acceder a la librería de DOWEX, explicada en el apartado de la cabecera principal en Tools/DOWEX literatura.

 **Herramientas:** dentro de este menú se encuentran 4 herramientas útiles que pueden ser necesarias para la realización del proyecto como son: calculadora, conversión de unidades, función restauradora y un recipiente medidor, esté submenú dentro de herramientas se puede ver en la figura 5.57.

Cada apartado de las 4 herramientas que ofrece el programa están explicados en el apartado anterior de la cabecera principal, en Tools/Cadis tools.

 **Contacta con Dow Water Solution:** a través de esté menú se puede acceder a al contacto con Dow Water Solution por si se tiene cualquier duda acerca del programa CADIX. Dependiendo del sistema operativo que se tenga no funcionará.

 **Enviar el archivo por e-mail:** clicando en éste ícono permite enviar un archivo CADIX por correo electrónico, la manera de realizarlo ha sido explicada anteriormente, ya que es el mismo menú que el de la cabecera principal en "File" y dentro de éste en "Sent Cadix Result by E-mail".

5.3. Pie de ventana

El pie de ventana se encuentra en la parte inferior del programa ejecutado. Esta sección proporciona información acerca del proyecto que se esté realizando. En la figura 5.83 viene representado el significado de cada apartado del pie de ventana.

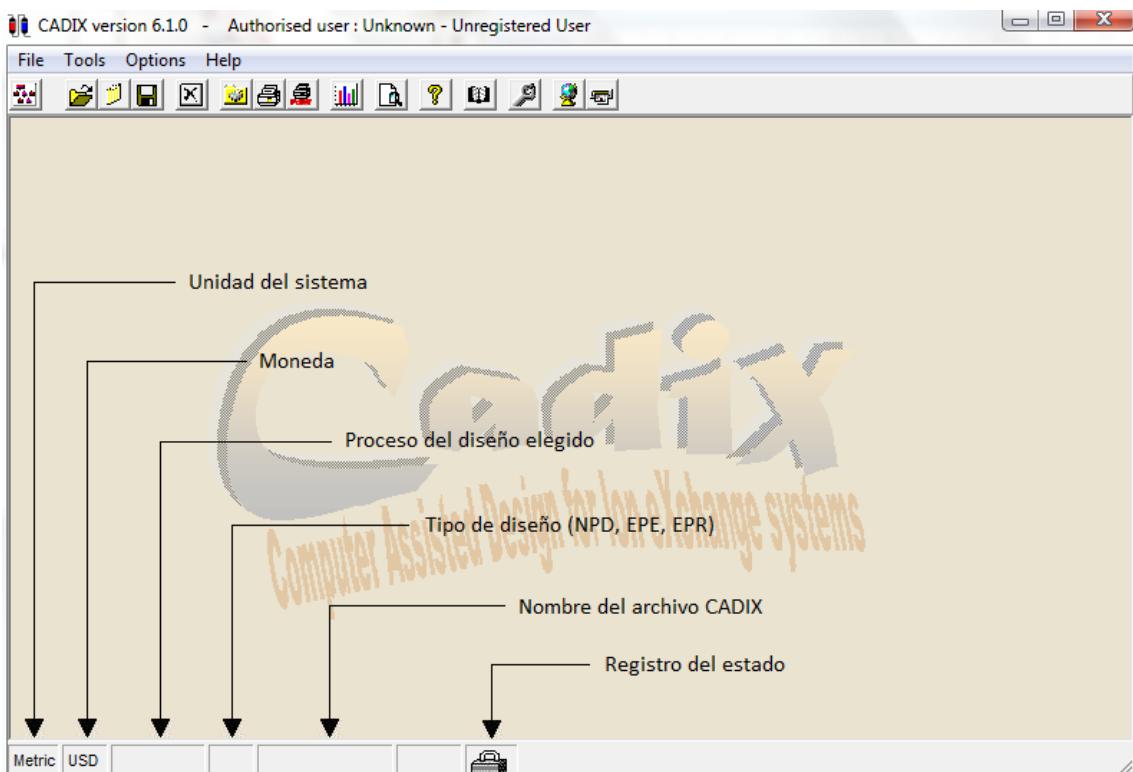


Figura 5.83: Significado del pie de ventana

Hay un total de 6 apartados informativos en la parte inferior, cada uno de ellos indica:

- **Unidad del sistema:** indica las unidades de medida en que se está realizando el proyecto, en este caso en unidades métricas. Para cambiar de unas unidades a otras hay que pinchar encima de la unidad y saldrá una ventana (figura 5.84), que informa que del cuidado que hay que tener con dicho cambio ya que se cerrará la fase de proyecto actual, si se está de acuerdo pinchar en "Sí" y se cambiarán las unidades, sino pinchar en "No" y permanecerán las primeras unidades.

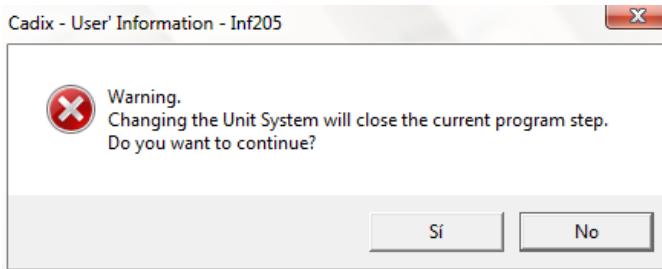


Figura 5.84: Cambio de unidades del sistema

- **Moneda:** indica el tipo de moneda con el que se realizarán la evaluación económica. Para cambiar el tipo de moneda hay que pinchar en el cuadro de la parte inferior, que informa el tipo de moneda que se está utilizando y saldrá un cuadro dónde se puede elegir la moneda que se quiera tal como ha sido explicado en el apartado cabecera principal/"Tools"/"Update Currency Rate".
- **Proceso de diseño elegido:** en este apartado está escrito el nombre del proceso que se haya elegido para hacer el proyecto. Los diferentes procesos se eligen desde el primer ícono de la cabecera secundaria de selección del proceso llamado "Quick process selection".
- **Tipo de diseño:** hay 3 tipos de diseño, "NPD" ("New Plant Design": diseño de nuevas plantas), "EPE" ("Existing Plant performance Evaluation": evaluación de desempeño de las instalaciones existentes) y "EPR" ("Existing Plant Retrofit": adaptar las plantas existentes).
- **Nombre del archivo:** en esta sección pondrá el nombre del archivo, dicho nombre ha sido especificado por el usuario al guardar el proyecto realizado.

- **Registro del estado:** indica mediante símbolos si la versión de CADIX utilizada es libre, es decir, que solo se podrá usar una parte básica del programa o por el contrario se le ha introducido una clave que permite utilizar la totalidad del programa, dicha clave se consigue mediante el registro del usuario explicado en el apartado 4.2. Los símbolos del programa sin clave y con clave vienen representados en la figura 5.85.

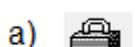


Figura 5.85: Símbolo a) del programa libre y b) del programa con clave

5.4. Menú de navegación

Esta es una característica que permite una navegación sencilla a través de los pasos de diseño del proyecto. La barra de navegación aparece a la derecha de la pantalla tan pronto como se introducen los datos en CADIX o si abre un archivo guardado en la memoria. Los botones de navegación se activan (pasando de gris a negro) después de que la pantalla o el nivel correspondiente se muestren. Entonces, es posible navegar a través del diseño gracias a éste menú. La barra lateral se compone de tres pestañas (figura 5.86): entrada de los datos de la alimentación (input), resultados del diseño (results) y cálculo y personalización (calc & customize).

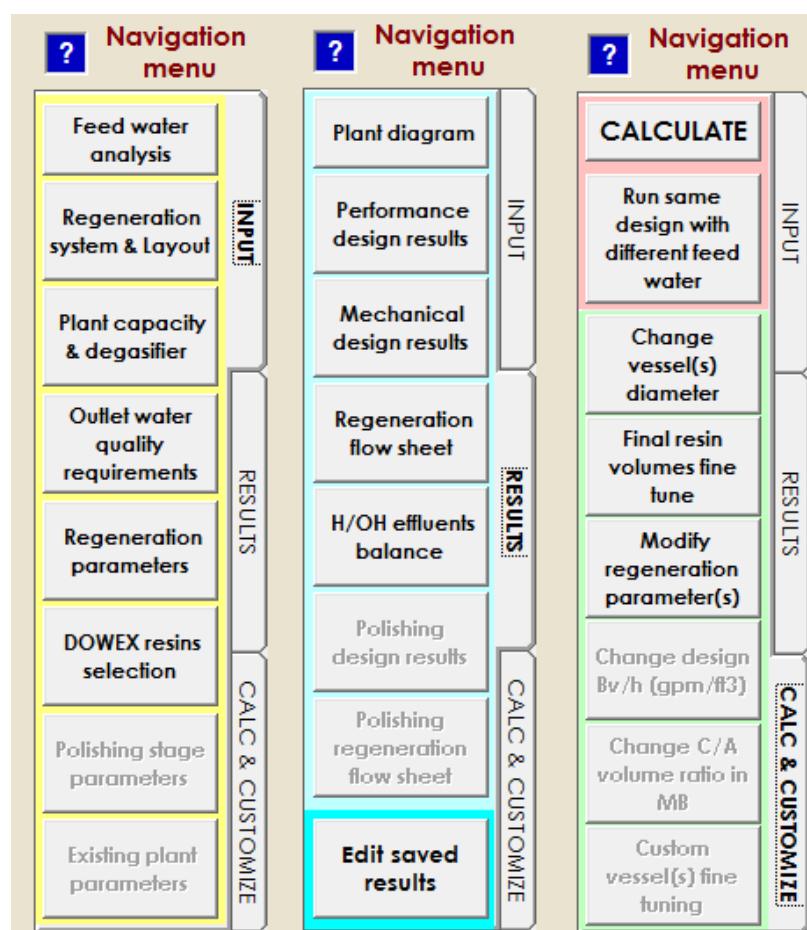


Figura 5.86: Pestañas del menú de navegación.

A continuación, se van a explicar brevemente cada una de las 3 pestañas, siendo detalladas más a fondo en el apartado 6, con el caso práctico.

5.4.1. “Input”

Para la introducción de los datos de alimentación, aparecen 8 elementos cada una de las cuales corresponde a las 8 ventanas donde el usuario puede introducir los datos de la alimentación que permitirán a CADIX realizar el diseño del sistema (figura 5.87).

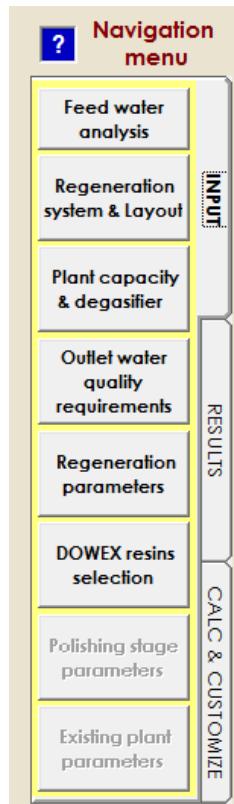


Figura 5.87: Entrada de los datos de alimentación

Los 7 primeros elementos se utilizan para un nuevo diseño de planta (NPD), así como para una evaluación de la planta existente (EPE) y la adaptación de la planta existente (EPR). El último elemento solo se utiliza para informar a CADIX sobre los tamaños de los recipientes de una planta ya existente, que le permitirá evaluar la capacidad de la planta existente o para optimizar una planta existente para su modificación. Al seleccionar uno de éstos elementos, aparecerá en la pantalla la ventana correspondiente al nivel seleccionado.

Los elementos que forman la introducción de los datos de la alimentación son:

- “Feed water analysis”: Análisis del agua de alimentación.
- “Regeneration system & Layout”: Sistema de regeneración y diseño.
- “Plant capacity & degasifier”: Capacidad de la planta y desgasificador.

- “Outlet water quality requirements”: Requerimientos de la calidad del agua de salida.
- “Regeneration parameters”: Parámetros de regeneración.
- “DOWEX resins selection”: Selección de las resinas DOWEX.
- “Polishing stage parameters”: Parámetros de la etapa de pulido.
- “Existing plant parameters”: Parámetros de una planta existente.

5.4.2. “Results”

El menú de navegación de los resultados contiene 8 elementos (figura 5.88), dentro de los cuales los 7 primeros los puede mostrar CADIX cuando un diseño ha sido completado. Dentro de estas ventanas aparecen algunos resultados en cuadros verdes que indican que pueden ser modificados por el usuario. El último elemento está disponible cuando se abre un archivo guardado de CADIX, al seleccionarlo se muestran los resultados del diseño. En ésta última opción no se puede cambiar nada, pero se puede utilizar cuando se deseé una copia impresa de los resultados.

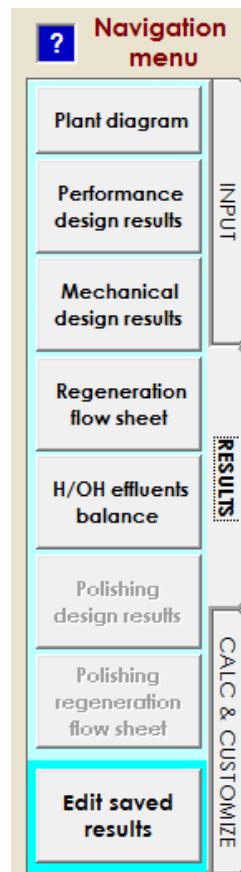


Figura 5.88: Resultados del diseño

Los elementos que forman los resultados son:

- “Plant diagram”: Diagrama de la planta
- “Performance design results”: Resultados del rendimiento del diseño
- “Mechanical design results”: Resultados mecánicos del diseño.
- “Regeneration flow sheet”: Diagrama de flujo de la regeneración.
- “H/OH effluents balance”: Equilibrio de los efluentes H/OH.
- “Polishing design results”: Resultados del pulido del diseño.
- “Polishing regeneration flow sheet”: Diagrama de flujo de la regeneración en el pulido.
- “Edit saved results”: Editar los resultados guardados.

5.4.3. “Calc & Customize”

El menú de navegación de cálculos y personalización está formado por 8 elementos (figura 5.89).

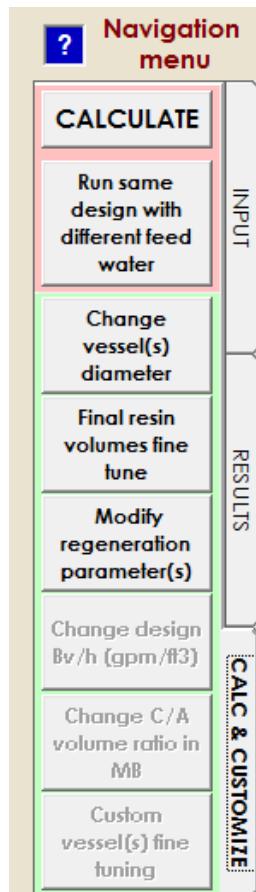


Figura 5.89: Calculo y personalización

Cada uno de los 8 elementos que componen el menú de cálculo y personalización son:

- “Calculate”: Cálculo. Seleccionándolo se abrirá la ventana de los parámetros de diseño de cationes/aniones que contienen las dosis de regeneración y factores de seguridad que se utilizaron en el diseño actual. Para ejecutar el proceso de cálculo hay que seleccionar la flecha hacia la derecha una vez modificados los valores.
- “Run same design with different feed water”: Ejecutar el mismo diseño con agua de alimentación diferente. Una vez que el diseño ha sido completado y parece que todo está correcto, ésta opción permite saber que ocurrirá con la planta si algo cambia en el agua de la alimentación. Lo primero que habrá que hacer es introducir los datos del agua de alimentación, presionar la flecha que indica hacia la derecha y el programa evaluará el rendimiento utilizando todos los parámetros del diseño principal.
- “Change vessel(S) diameter”: Cambiar el diámetro de los recipientes. Si el usuario no está de acuerdo, por cualquier razón, con el calibrado del recipiente hecho por CADIX, se puede cambiar a través de esta ventana. CADIX calculará la planta con las cifras que se hayan introducido, pero se reserva el derecho de modificación si se exceden los límites.
- “Final resin volumes fine tune”: Ajustar los volúmenes de resina finales.
- “Modify regeneration parameter(s)”: Modificar los parámetros de regeneración. Los parámetros que están dentro de cuadros verdes pueden ser modificados.
- “Change design Bv/h (gpm/ft3)”: Cambiar el diseño. Esta opción está reservada para la planta de pulido de condensado y se puede cambiar la velocidad de flujo específico utilizado por CADIX para evaluar el volumen de resinas.
- “Change C/A volume ratio in MB”: Cambiar la relación del volumen. Esta opción está reservada a la planta de pulido de condensado y se puede cambiar la relación de volumen catión/anión utilizado por CADIX para evaluar la proporción de ambas resinas en un lecho mixto.
- “Custom vessel(s) fine tuning”: Ajuste del recipiente personalizado. Permite cambiar el recipiente propuesto por CADIX.

5.5. Diseño del proyecto

En este apartado se van a explicar las principales ventanas que aparecen en la realización de un proyecto. Para comenzar a realizar un sistema se debe ir en la cabecera principal y en “File” / “New Project” se selecciona la opción deseada para la realización del proyecto (apartado 5.1.1).

5.5.1. Ventana de inicio

La primera ventana que aparece (figura 5.90) pide información general sobre el proyecto, como la empresa que realiza el proyecto, la planta que se va a diseñar y el destinatario.

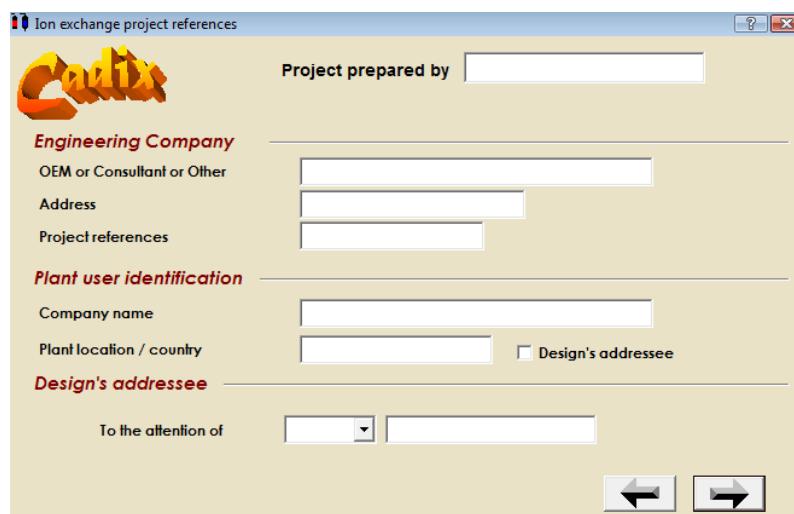


Figura 5.90: Información sobre el proyecto

Esta ventana no es obligatoria rellenarla, si se desea se puede pasar al siguiente paso clicando en la flecha que apunta a la derecha. En caso de querer llenar la información que se pide, se deben llenar los recuadros blancos:

- “Project prepared by”: Proyecto preparado por.
- “Engineering company”: Compañía de ingeniería.
- “OEM or Consultant or Other”: fabricante de la instalación o consultor u otros.
- “Address”: Dirección de la compañía.
- “Project references”: Referencias del proyecto.
- “Plant user identification”: Planta identificada por el usuario.

- “Plant location/country”: Situación de la instalación, localidad/país.
- “Design’s addressee”: Destinatario del diseño.
- “To the attention of”: A la atención de.

5.5.2. Elección del proceso

En la siguiente ventana que aparece (figura 5.91), se pide al usuario que elija el tipo de diseño que quiere realizar, dándole a elegir 3 opciones:

- “New”: Diseño de una nueva planta.
- “Evaluate”: Evaluación de una planta ya existente.
- “Retrofit”: Adaptación de una planta existente.

Una vez seleccionada la opción deseada, se pulsa la flecha que indica hacia la derecha para pasar a la siguiente ventana.

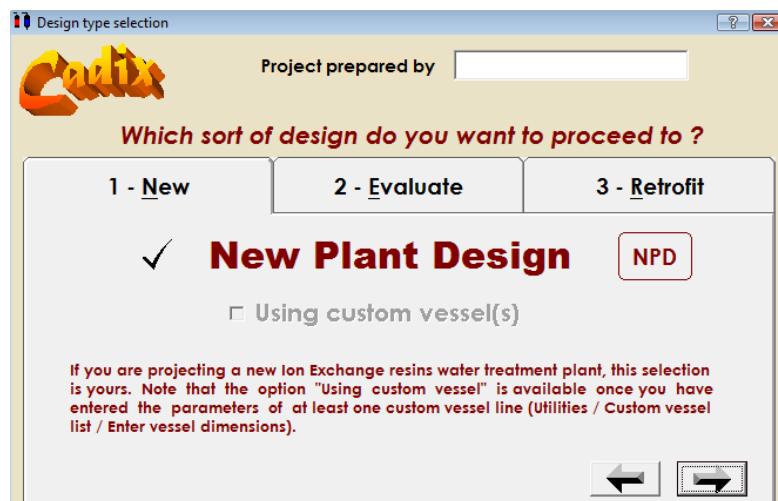


Figura 5.91: Elección del tipo de diseño

5.5.3. Diseño y evaluación de una nueva planta

Para diseñar o evaluar una planta, se ha debido de seleccionar alguna de estas dos opciones en la ventana mostrada en la figura 5.91 dentro el paso de selección del proceso (apartado 5.5.2).

5.5.3.1. Composición del agua de alimentación

En el siguiente paso (figura 5.92) se deben llenar los cuadros blancos con la información del agua de alimentación que se vaya a utilizar en el proceso, la forma de completar ésta ventana aparece en el apartado 5.1.2 parte 5).

Feed water analysis

Feed is one source Feed is a mixture of 2 sources

Concentration units

0 <input checked="" type="radio"/> meq/l	2 <input type="radio"/> German degree	4 <input type="radio"/> ppm as CaCO ₃
1 <input type="radio"/> French degree	3 <input type="radio"/> ppm as ion	5 <input type="radio"/> Gr. as CaCO ₃ /US gal

Feed water origin

Calcium	meq/l	Chloride	meq/l
Magnesium	meq/l	Nitrate	meq/l
Total Hardness	meq/l	Sulfate	meq/l
Sodium	meq/l	Other	meq/l
Potassium	meq/l	p-Alkalinity	meq/l
Other	meq/l	m-Alkalinity	meq/l
Total cations	meq/l	Total anions	meq/l

One source 100 %

Unlock

Clear All

← →

F1 Input "Other" as monovalent cations Input Alk values as CO₃ and HCO₃

Figura 5.92: Composición del agua de alimentación

5.5.3.2. Propiedades del agua de alimentación

La siguiente ventana (figura 5.93) pide información sobre las propiedades del agua de alimentación que se vaya a utilizar en el proceso, la forma de completar ésta ventana aparece en el apartado 5.1.2 parte 5).

Feed water analysis

Feed water origin Cadix Default Water
One source 100 %

Check the box if the water origin is a RO or NF or UF permeate

Silica as SiO ₂	mg/l	You may enter your own value for Free CO ₂ or have the program calculate the value by clicking
pH		<input type="button"/> Evaluate free CO ₂
Free CO ₂	mg/l	
Temperature	°C	°F
Organics as KMnO ₄	mg/l	% non polar
Organics as O ₂	mg/l	
Suspended material (average)	mg/l	
Cost of filtered & pretreated water feed to IX plant	Euro/m ³	

← →

F1

Figura 5.93: Propiedades del agua de alimentación

5.5.3.3. Sistema de regeneración

En la ventana de la figura 5.94, se pide información acerca del sistema de regeneración.

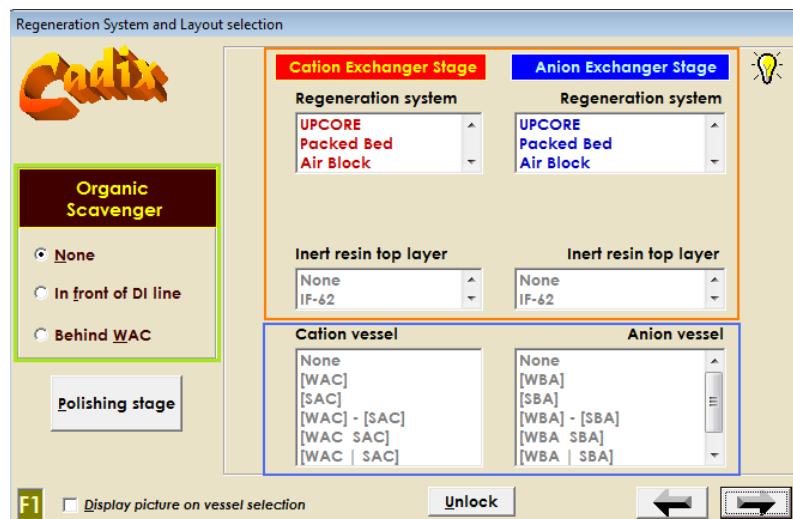


Figura 5.94: Selección del sistema de regeneración

Dentro del cuadrado verde hay que seleccionar la forma de eliminar la materia orgánica:

- “None”: No se elimina la materia orgánica.
- “In front of DI line”: En frente de la línea de intercambio iónico.
- “Behind WAC”: Se elimina detrás del catión del ácido débil.

Dentro del cuadro naranja se debe seleccionar el sistema de regeneración del intercambiador catiónico (letras rojas) y del intercambiador aniónico (letras azules):

- “Packed Bed”: Lecho fijo, son sistemas de regeneración en contracorriente con el flujo ascendente para retener los iones y flujo descendente para la regeneración. Estos sistemas no permiten la limpieza de resina en el interior del recipiente, esta debe hacerse en recipientes adicionales externos con una frecuencia que depende del nivel de sólidos suspendidos en el agua.
- “Air Block” y “Water Block”: Sistemas de bloque de aire y de bloque de agua, funcionan en flujo descendente durante el servicio y la regeneración en flujo ascendente. Durante la regeneración se utiliza aire o agua para la contrapresión, para evitar que la capa de resina se mueva hacia arriba. Permiten la limpieza de la resina dentro del recipiente.

- **“Co-Current”**: Son sistemas que funcionan en la misma dirección para el agotamiento de la resina y su regeneración, generalmente el flujo es descendente. Los recipientes tienen una gran altura cilíndrica para permitir el lavado de la resina interna. La eficiencia de la regeneración y la calidad del agua alcanzada por este sistema no es tan buena como los obtenidos en contracorriente.
- **“Working Mixed Bed”**: El principio de funcionamiento es el mismo que el de lecho fijo del pulido, pero no deben confundirse. Los sistemas de “Mixed Bed” se utilizan para lograr una buena calidad del agua desmineralizada con un solo recipiente que contiene resinas de intercambio catiónico y aniónico. Dado que la eficiencia de estos sistemas es pobre, debe reservarse para la desmineralización de agua de baja dureza (por debajo de 2 mEq/L o 100 ppm de CaCO_3).

“Air Block”, “Water Block”, “Co-Current” y los sistemas “Mixed Bed” sólo se pueden usar para el diseño de una planta nueva o una planta ya existente, no está disponible para adaptar una planta.

En el cuadro azul hay que seleccionar el recipiente catiónico y aniónico, es decir, la forma en la que se encuentran el catión y el anión, para ello se debe conocer el significado de las siglas:

- **“None”**: No hay forma catiónica o aniónica.
- **“WAC”**: weak acid cation, resina de intercambio catiónico de un ácido débil.
- **“SAC”**: strong acid cation, resina de intercambio catiónico de un ácido fuerte.
- **“WBA”**: weak base anion, resina de intercambio aniónico de una base débil.
- **“SBA”**: strong base anion, resina de intercambio aniónico de una base fuerte.

También se debe conocer el significado de los símbolos, se pone a continuación un ejemplo:

- [X]: Muestra un único recipiente.
- [X | Y]: Indica un recipiente de lecho en capas con una separación física entre las resinas débiles y fuertes.
- [X Y]: Indica un recipiente de lecho en capas sin separación física entre las resinas.

Dependiendo del sistema de regeneración elegido, algunas configuraciones pueden no estar disponibles.

5.5.3.4. Parámetros de la planta

En el siguiente paso se deben introducir los parámetros utilizados en la planta, dichos parámetros, recuadrados de color azul en la figura 5.95, son:

- “Net flow rate per line”: Caudal en la línea expresado en m³/h.
- “Number of lines of same capacity”: Número de líneas de la misma capacidad.
- “Number of lines possibly operating at the same time”: Número de líneas que pueden operar a la vez.
- “Time between two regenerations”: Tiempo entre dos regeneraciones, se puede dar en horas (“hours”) o en días si fuera más apropiado (“or days if appropriate”).

Dentro del cuadro verde hay que seleccionar si existe un desfasificador en la planta y de qué tipo, o si no existe ningún desgasificador (“No degasifier”). Por último se encuentra el recuadro naranja que informa sobre el CO₂ evaluado tras la fase de intercambio catiónico, este cuadro lo rellena el programa con los datos anteriores y se da en mg/l o lo que es lo mismo en ppm (en este caso hay 154 mg/l de CO₂).

Figura 5.95: Parámetros utilizados en la planta diseñada

5.5.3.5. Requisitos del agua de salida

En este apartado hay que introducir la conductividad y el nivel de sílice que hay en el agua. Hay cuatro variables a llenar (figura 5.96), en las cuales las dos de arriba se pueden poner en tres unidades diferentes ($\mu\text{S}/\text{cm}$, mg/l o $\mu\text{g}/\text{l}$) y las dos de abajo en dos unidades distintas (mg/l o $\mu\text{g}/\text{l}$):

- “Average conductivity”: Conductividad media. Éste valor depende por la calidad del agua, el tipo de producto regenerante y la dosis que utiliza y del rendimiento de la resina de intercambio iónico. El programa calcula el valor de conductividad media con los datos del rendimiento, si es muy diferente del valor introducido aparecerá un mensaje de advertencia para modificarlo.
- “Max. Conductivity at end-point”: Máximo valor de conductividad en el punto final. Éste valor es introducido para lograr una mejor calidad durante la ejecución del servicio.
- “Average silica leakage as SiO₂”: Promedio de pérdidas de sílice como SiO₂.
- “Max. silica level at end-point”: Máximo nivel de sílice en el punto final.

Outlet water quality requirements

Cadix

Please, enter the requirements for the demineralized water quality, before polishing stage, if any.

Fill-in either the conductivity or Na-level boxes. CADIX will automatically adjust the ppm or ppb levels.

Average conductivity	<input type="text"/>	Max. conductivity at end-point	<input type="text"/> $\mu\text{S}/\text{cm}$
or		or	
Average cations leak as Na	<input type="text"/>	Max. Na level at end-point	<input type="text"/> mg/l (ppm) $\mu\text{g}/\text{l}$ (ppb)
	<input type="text"/>		
Average silica leakage as SiO ₂	<input type="text"/>	Max. silica level at end-point	<input type="text"/> mg/l (ppm) $\mu\text{g}/\text{l}$ (ppb)
	<input type="text"/>		

F1 **Unlock** **←** **→**

Figura 5.96: Requisitos del agua de salida

5.5.3.6. Parámetros de la regeneración

En el siguiente paso se deben elegir los parámetros que afectan a la regeneración (figura 5.97):

- “Concentration of chemicals for regeneration”: Concentración de los productos químicos para la regeneración (HCl, H₂SO₄, NaCl y NaOH). El programa sugiere unas concentraciones de los productos químicos que se pueden cambiar si es necesario, pero hay que tener en cuenta que un ácido de mala calidad y los productos químicos cáusticos pueden resultar dañinos para las resinas y/o una disminución en el rendimiento de la planta.
- “Acid regeneration”: Regeneración del ácido. Hay dos posibilidades a elegir, “Hydrochloric acid” (HCl) y “H₂SO₄ stepwise %” (H₂SO₄ con concentración gradual, no constante).
- “Caustic regeneration”: Regeneración cáustica. Una regeneración con agua templada (35°C) o caliente (50°C) de NaOH puede ser necesaria si el nivel de sílice en el agua es elevado. También existe la posibilidad de realizar la regeneración cáustica con NaOH frío (15°C).
- “Effluent neutralization”: Neutralización del efluente. Hay dos opciones para elegir, “Effluent neutralization required” (neutralización del efluente requerida) o “Effluent neutralization not required” (neutralización del efluente no requerida).
- “Regeneration mode”: Modo de regeneración. Hay dos posibilidades a elegir para el modo de regeneración, “Simultaneous cation/anion regeneration” (regeneración simultánea de la resina catiónica y aniónica) o “Separate cation/anion regeneration” (Regeneración separada de la resina catiónica y aniónica).
- “Rinse mode”: Modo de lavado. Se debe elegir entre “Rinse to waste” (el lavado no se utiliza más, es un residuo) o “Rinse recycling” (se recicla el lavado).

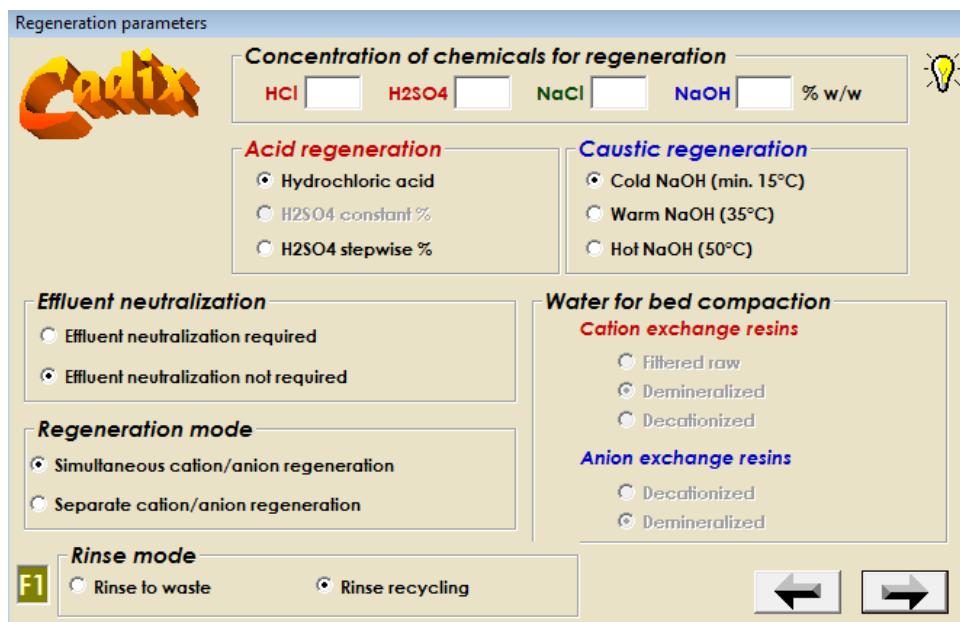


Figura 5.97: Parámetros de la regeneración

5.5.3.7. Selección de la resina DOWEX

Este apartado ya viene completado por el programa pero si se desea cambiar el tipo de resina, se debe seleccionar la deseada de las que aparecen en la figura 5.98.

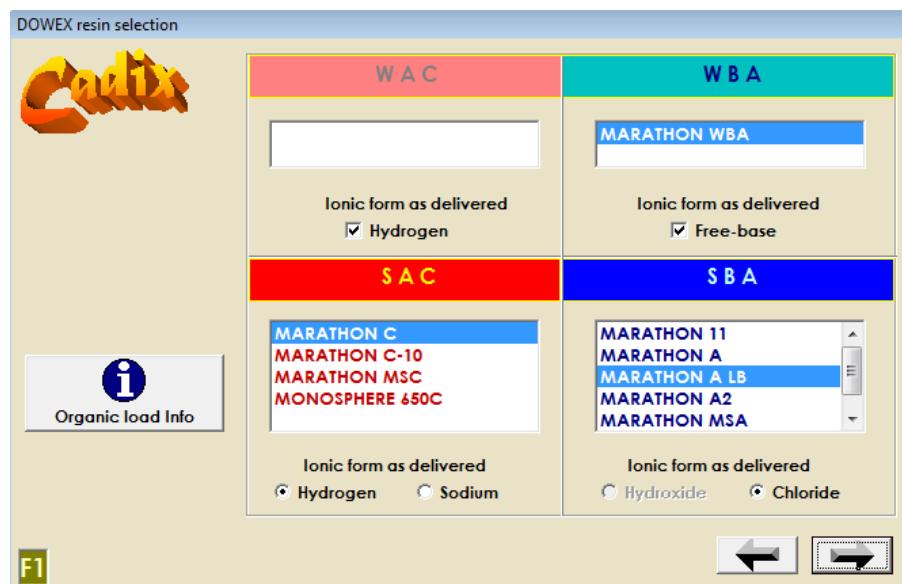


Figura 5.98: Selección de la resina DOWEX

5.5.3.8. Descripción de la planta existente

Este apartado llamado “Existing plant description” (descripción de la planta existente) solo aparece si en el apartado 5.5.2, es decir, el apartado de selección del proceso se ha elegido la opción de “Evaluate” (evaluación de una planta ya existente).

En este paso aparece la ventana mostrada en la figura 5.99 y se deben introducir los datos referidos a la planta de la cual se quiere hacer la evaluación. En rojo hay un tipo de resina catiónica y en azul están los tipos de resinas aniónicas (mirar apartado 5.1.2, sección 1). Los datos a introducir son los siguientes:

- “Diameter”: Diámetro expresado en mm.
- “Wall thickness”: Espesor de la pared expresado en mm.
- “Vessel area”: Área del recipiente expresada en m².
- “Cylindrical height”: Altura cilíndrica en mm.
- “Resin height*”: Altura de la resina en mm, el asterisco indica que no es obligatorio llenar esta casilla.
- “Resin volumen”: Volumen de la resina expresado en litros.
- “Resin height as swollen”: Altura de la resina hinchada en mm, esta casilla no es necesario llenarla ya que al llenar el resto de casillas obligatorias y clicar en la flecha que indica hacia la derecha aparece llenada por el programa.
- “Volume reference ionic form”: Forma iónica de referencia.
- “Check box if top distributor (no top nozzle plate)”: Marca la casilla si el distribuidor es superior (sin plato de boquilla superior).
- “Check box if bottom cross distributor immersed into resin”: Marca la casilla si el distribuidor transversal inferior está inmerso en la resina.

Figura 5.99: Descripción de la planta existente

5.5.3.9. Parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico

En este paso se deben introducir los parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico. En los cuadros rojos de la figura 5.100 se informa de la resina catiónica elegida en el proceso y la concentración de HCl para la regeneración. Hay que introducir el “safety coefficient” (coeficiente de seguridad para darle un margen de error al programa, se recomienda un 0,85) y el “Acid regeneration dosage” (la dosis de regeneración del ácido que debe ir en g/l basándose solo en forma de Na).

Figura 5.100: Parámetros del diseño de las resinas de intercambio iónico 1

Pinchando en la flecha de abajo a la izquierda sale el siguiente paso de los parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico (figura 5.101).

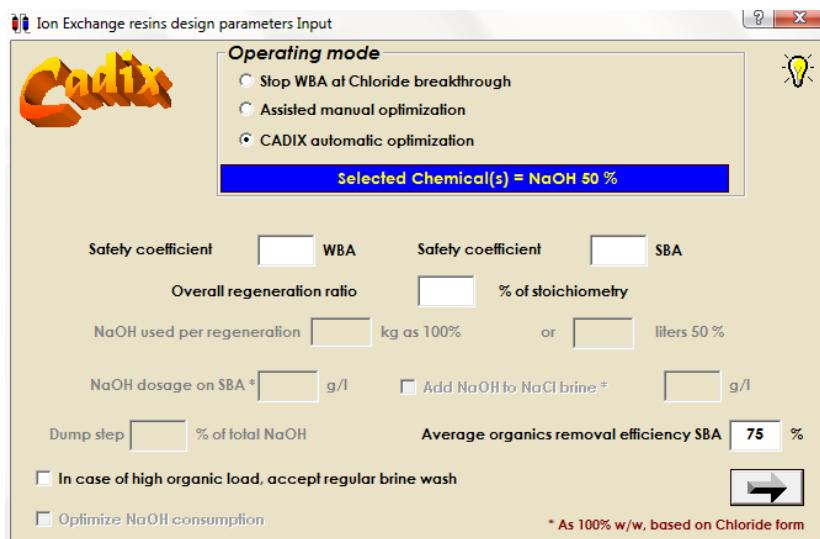


Figura 5.101: Parámetros del diseño de las resinas de intercambio iónico 2

En este segundo paso del apartado 6.1.10 hay que llenar parámetros que tienen que ver con la resina aniónica. Como en el primer paso hay que introducir el “Safety coefficient” que también recomienda el programa que sea 0,85 tanto para el WBA como para el SBA. También se debe llenar el “Overall regeneration ratio” (relación de la regeneración total en porcentaje estequiométrico, es la relación de la cantidad de ácido o NaOH utilizado para eliminar una cantidad equivalente de iones de la resina) y el “Average organics removal efficiency SBA” (eficiencia de la eliminación de materia orgánica en porcentaje).

5.5.3.10. Evaluación de la resina aniónica

En este paso el programa está evaluando todos los datos introducidos para obtener los resultados del proceso (figura 5.102).

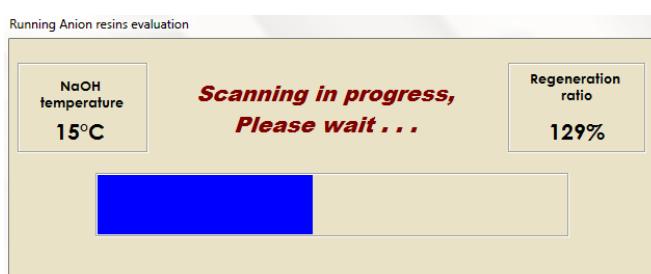


Figura 5.102: Ejecución de la evaluación de la resina aniónica

5.5.3.11. Resultados obtenidos

En la figura 5.103 se muestra el sistema, “Feed water Tank” (tanque con el agua de alimentación), después viene la resina catiónica en rojo (“SAC”) y después dos aniónicas de azul (“WBA” y “SBA”), por último está el “Treated water tank” (tanque con el agua tratada). Pinchando en cada una de las 3 imágenes recién mencionadas se pueden ver las características de cada uno de ellos.

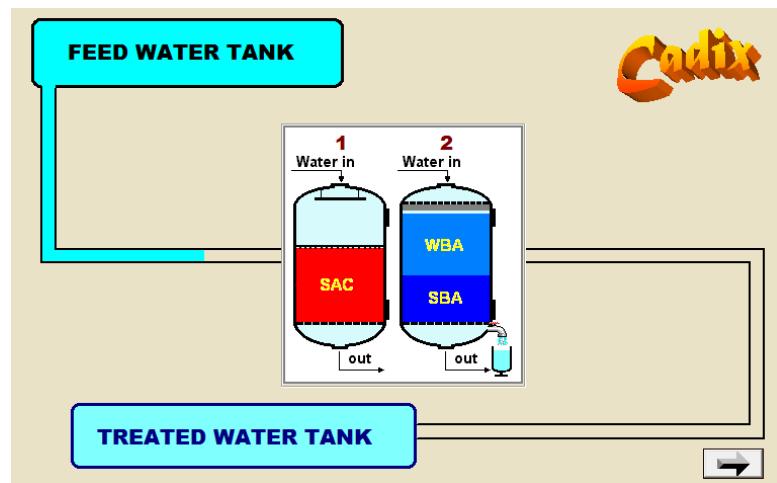


Figura 5.103: Ventana que muestra los resultados

Pinchando en “Feed water tank” se accede a la ventana de la figura 5.104 que informa de la composición del agua de alimentación, es la información proporcionada en el apartado 6.1.3.

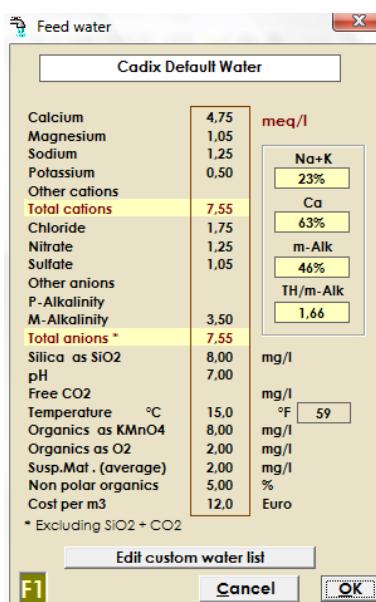


Figura 5.104: Composición del agua de alimentación

Pinchando sobre la imagen de la resina roja aparece la figura 5.105 que informa sobre la resina catiónica:

- “Resin volumen as delivered”: Volumen de resina en litros.
- “Vessel diameter”: Diametro del recipiente en mm.
- “Resin height as delivered”: Altura de la resina en mm.
- “Regeneration system”: Sistema de regeneración.



Figura 5.105: Información sobre la resina catiónica

Pinchando sobre la imagen de la resina azul aparece la figura 5.106 que informa sobre la resina aniónica:

- “Resin volumen as delivered”: Volumen de resina en litros.
- “Vessel diameter”: Diametro del recipiente en mm.
- “Resin height as delivered”: Altura de la resina en mm.
- “Regeneration system”: Sistema de regeneración.
- “Nozzle plate betw. weak and strong resins”: Plato de boquilla entre las resinas débiles y fuertes.

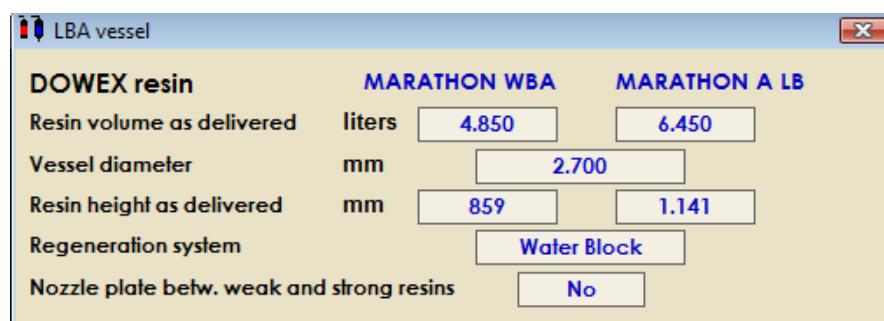


Figura 5.106: Información sobre la resina aniónica

Pinchando en “Treated water tank” aparece la ventana de la figura 5.107 que informa sobre la composición del agua de salida que ya ha sido tratada con las resinas aniónicas y catiónicas.

Plant outlet water quality (average)		Required	Estimated
Outlet Water Conductivity	MicroS/cm	1,00	0,25
Outlet Water SiO ₂	mg/l	0,050	0,020
Outlet water Na	mg/l	0,095	0,024
Outlet Water Alkalinity	meq/l		
Outlet Water pH			8,0
Outlet organics as KMnO ₄	mg/l		1,15

Figura 5.107: Composición del agua de salida

Para pasar a la siguiente ventana de resultados, se clica en flecha que indica hacia la derecha de la figura 5.103 y aparece la ventana mostrada en la figura 5.108 que informa sobre la resina catiónica en rojo y aniónicas en azul. Si se vuelve a clicar en la flecha que indica la derecha aparece otro cuadro parecido al de la figura 5.108 completando la información de éste.

DOWEX Resins		Vessel 1	Vessel 2
Volume as delivered	liters	10.225	4.850
Net flow-rate	m ³ /h	100	100
Net throughput	m ³	1.100	1.100
Gross flow-rate	m ³ /h	107	107
Gross throughput	m ³	1.224	1.172
Time between 2 reg.	hours	11,0	11,0
Operating capacity	meq/l	976	798
Ionic load	eq	9.238	4.419
Ionic form as delivered		Hydrogen	Chloride
Organic load KMnO ₄	g/l		0,41
Silica load as SiO ₂	g/l		1,45
Regenerant chemical		HCl	NaOH
Regenerant dosage	g/l	50,0	41,2
Chemical amount 100%	kg	473	72,2
Reg. ratio to stoichio.	%	140	465
Regeneration system		Water Block	Water Block

Figura 5.108: Resultados sobre las resinas catiónica y aniónica

Volviendo a clicar en la flecha para pasar a la siguiente ventana, aparece la de la figura 5.109, que muestra información acerca del flujo de regeneración en diferentes unidades:

- SAC backwash: Lavado a contracorriente de la resina catiónica.
- HCl injection: Inyección de HCl.
- Acid displacement: Desplazamiento del ácido.
- Water blockage flow: Bloqueo del flujo de agua.

Regeneration flow-sheet						
	m3/h	m/h	minutes	Water	m3	
SAC backwash	1/20 reg. *	57,1	11,8	15,0	Raw	0,66 *
HCl injection	5,00 %	24,2	5,00	23,5	Demin	9,46
Acid displacement	2,50 Bv	21,2	4,39	66,9	Demin	23,7
Water blockage flow		31,4 to 27,6		90,4	Raw	43,0
<input type="button" value="Anion Exchanger"/> <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/>						

Figura 5.109 Información sobre la regeneración del sistema

En la siguiente ventana mostrada en la figura 5.110 aparece información sobre el tiempo de regeneración (“Regeneration time”), el agua de servicio (“Service water”), el intercambio de cationes (“Cation exchanger”) y el intercambio de aniones (“Anion exchanger”):

- “Cation regeneration time”: Tiempo de regeneración de la resina catiónica expresado en minutos.
- “Anion regeneration time”: Tiempo de regeneración de la resina aniónica expresado en minutos.
- “Rinse recycling at 107 m3/h”: Tiempo del reciclaje del lavado a 107 m³/h expresado en minutos.
- “Total regeneration time”: Tiempo total de regeneración expresado en horas.
- “Scavenger regeneration time”: Tiempo de regeneración de los desechos expresado en minutos.
- “Demineralised water”: Agua desmineralizada en m³.
- “Decationized water”: Agua desionizada en m³.
- “Filtered Raw water”: Agua filtrada sin tratar en m³.
- “Total water”: Agua total en m³.
- “Cation salinity”: Salinidad del catión expresada en equivalentes.
- “Amount acid used”: Cantidad de ácido utilizado expresada en equivalentes.
- “Excess as H⁺ ions”: Exceso de iones H⁺ expresado en equivalentes.

- “HCl consumption as 35 %”: HCl consumido al 35 por ciento expresado en kg o litros.
- “HCl amount to neutral”: Cantidad de HCl para neutralizar expresada en kg al 100% o en litros al 35%.
- “Anion salinity”: Salinidad del anión expresada en equivalentes.
- “Amount NaOH used”: Cantidad de NaOH utilizado expresada en equivalentes.
- “Excess as alkalinity”: Exceso de alcalinidad expresado en equivalentes.
- “NaOH consumption as 50 %”: NaOH consumido al 50 por ciento expresado en kg o en ligros.
- “NaOH amount to neutral”: Cantidad de NaOH para neutralizer expresada en kg al 100% o en litros al 50%.

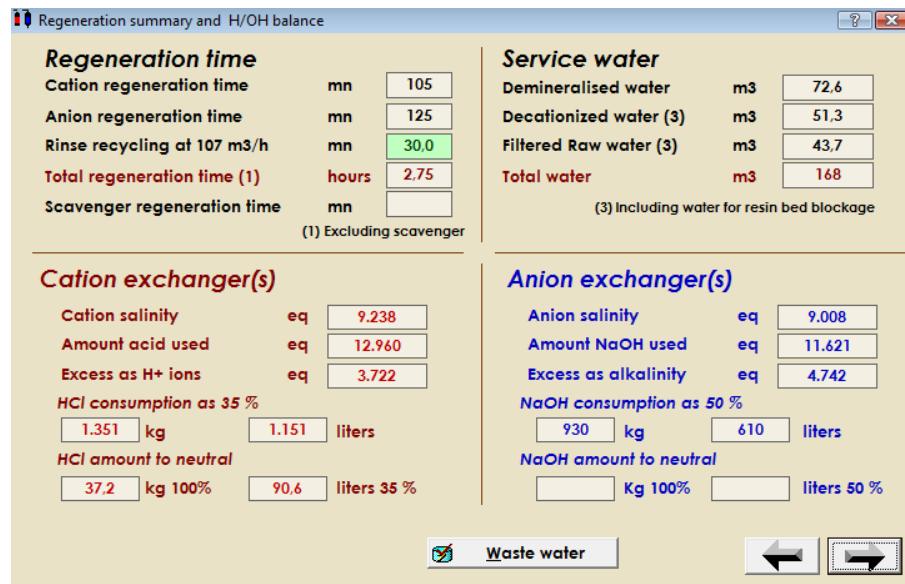


Figura 5.110: Información sobre diferentes variables

Desde la parte inferior de la figura 5.110 se puede acceder a la información sobre las aguas residuales en “Waste water”, si se selecciona aparece la ventana mostrada en la figura 5.111:

- “Low volumen”: Volumen bajo en m^3 .
- “Calcium”: Calcio en mg/l.
- “Magnesium”: Magnesio en mg/l.
- “Sodium”: Sodio en mg/l.
- “Potassium”: Potasio en mg/l.
- “Chloride”: Cloruro en mg/l.

- “Nitrate”: Nitrato en mg/l.
- “Sulfate”: Sulfato en mg/l.
- “Free acid”: Libre de ácidos en meq/l.
- “Free alkalinity”: Libre de alcalinidad en meq/l.

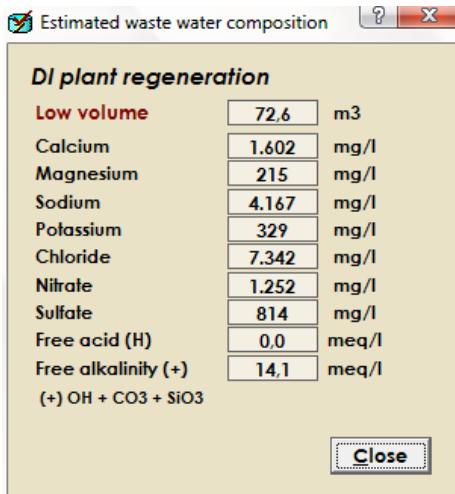


Figura 5.111: Composición estimada del agua residual

5.5.3.12. Diseño completado

Para finalizar aparece una ventana (figura 5.112) que dice que ya se puede guardar e imprimir el proyecto desde la cabecera principal en el menú desplegable de “File” (apartado 5.1.1) o mostrar los resultados del diseño si se quieren volver a revisar. También informa de que se pueden personalizar los resultados mediante el uso del menú de navegación de la parte derecha de la pantalla, para personalizar los resultados se recomienda:

- 1) Realizar los cambios en los parámetros de entrada, tales como el agua de alimentación, las condiciones de regeneración, la elección de la resina, etc... según sea necesario y ejecutar a través del proceso de cálculo hasta el final.
- 2) Cambiar el diámetro de los recipientes según se deseé.
- 3) Hacer un ajuste preciso de los volúmenes de resina.
- 4) Modificar las condiciones de regeneración de las celdas verdes.



Figura 5.112: Información de que el proyecto ha sido finalizado

5.5.4. Adaptación de una planta existente

Para realizar una adaptación de una planta ya existente, se ha debido de seleccionar esta opción en la ventana mostrada en la figura 5.91 dentro el paso de selección del proceso (apartado 5.5.2).

5.5.4.1. *Composición y propiedades del agua de alimentación y sistema de regeneración*

Estos tres primeros pasos para realizar la adaptación de una planta son los mismos que para el diseño o evaluación de una planta, explicados en los apartados 5.5.3.1, 5.5.3.2 y 5.5.3.3.

5.5.4.2. *Representación gráfica del sistema*

Como novedad de este apartado, aparece en la siguiente ventana un gráfico con el sistema de regeneración elegido, aparece la columna de intercambio iónico tratando el agua de entrada y sus partes principales. Se puede ver un ejemplo del gráfico del funcionamiento del sistema “UPCORE” en la figura 5.113.

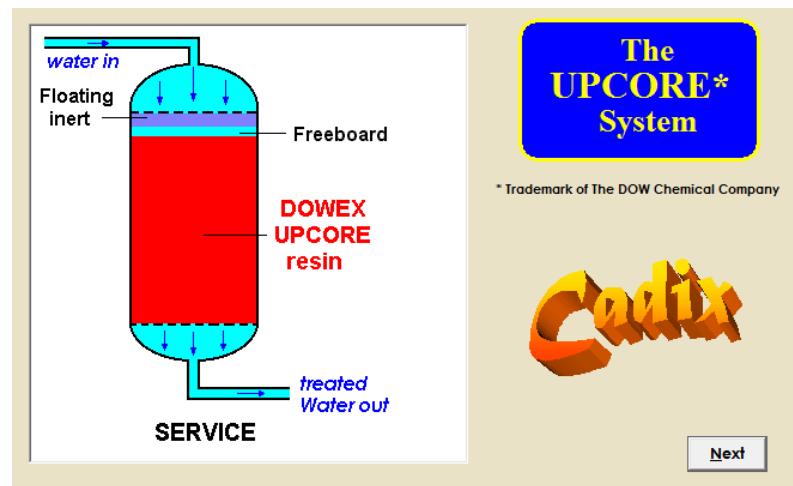


Figura 113: Gráfico del sistema tratando el agua de entrada

Seguido de la representación del sistema tratando el agua de alimentación aparece un gráfico con el sistema realizando la regeneración de las resinas. Un ejemplo de este gráfico con el sistema de regeneración “UPCORE” aparece en la figura 114.

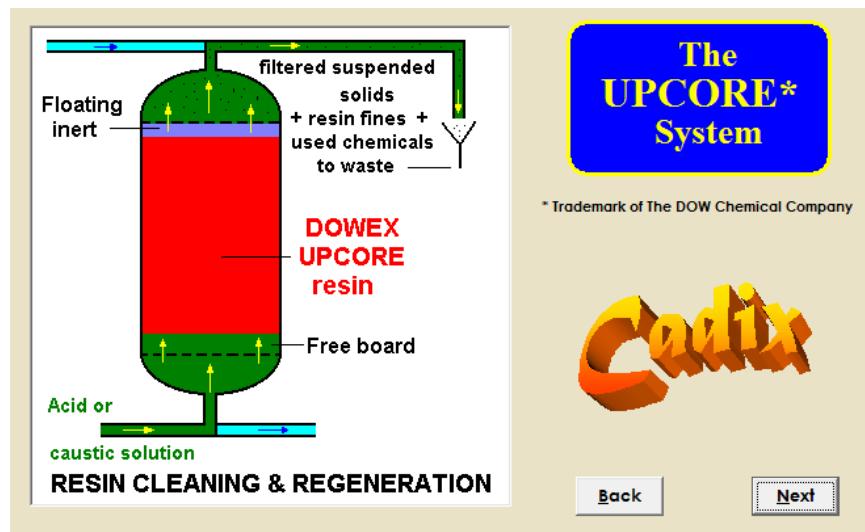


Figura 114: Gráfico del sistema realizando la regeneración

5.5.4.3. Conclusiones

En este apartado aparecen las ventajas clave del sistema seleccionado, en este caso del sistema “UPCORE” (figura 115)

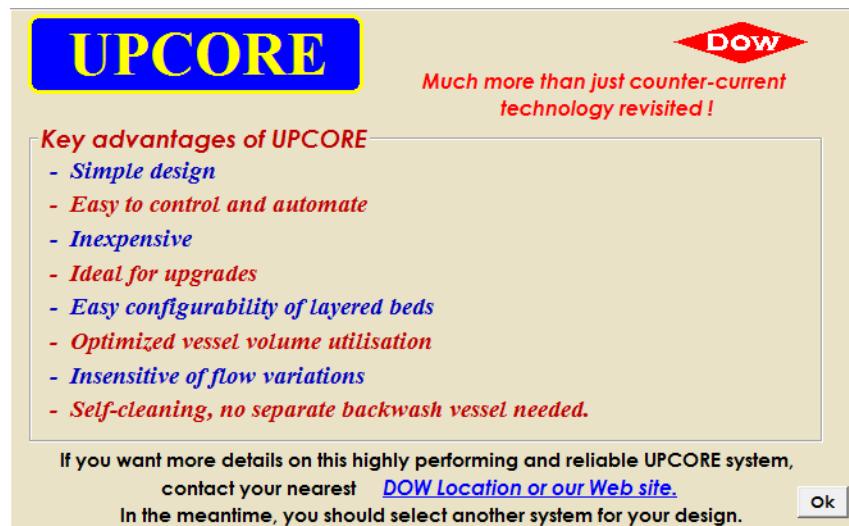


Figura 115: Ventajas clave del sistema seleccionado

Despues de mostrar las ventajas, si se selecciona “ok” de la figura 115 se retorna a la selección del sistema de regeneración explicado en el apartado 5.5.3.3. De esta manera se pueden ver las ventajas de los diferentes sistemas de regeneración del programa.

6. Caso práctico

En este apartado se propone resolver mediante CADIX un caso práctico de desmineralización de agua tomada de la red de agua potable para su uso en calderas de vapor. La cantidad de agua que se necesita desmineralizar es de 200 m³/h. El sistema está compuesto por dos líneas de la misma capacidad (100 m³/h cada línea) y ambas líneas pueden operar a la vez.

Las características del agua de alimentación que se utiliza en la empresa se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Características del agua de alimentación

	Agua de alimentación	Unidades
Ca ²⁺	4,75	meq/l
Mg ²⁺	1,05	meq/l
Na ⁺	1,25	meq/l
K ⁺	0,50	meq/l
Cl ⁻	1,75	meq/l
NO ₃ ⁻	1,25	meq/l
SO ₄ ²⁻	1,05	meq/l
m-Alcanos	3,50	meq/l
Sílice como SiO ₂	8,00	mg/l
CO ₂ libre	-	mg/l
Materia orgánica como KMnO ₄	8,00	mg/l
Materia orgánica como O ₂	2,00	mg/l
Materia en suspensión	2,00	mg/l
Porcentaje de apolares	5,00	%
Temperatura	15,0	°C
pH	7,00	
Coste del tratamiento del agua	12,0	€

Para el sistema de regeneración de la empresa, hay que tener que cuenta que no se elimina materia orgánica, el sistema de regeneración es "Water Block" y que hay una única resina de intercambio catiónica que es un ácido fuerte ([SAC]) y dos aniónicas dentro de un mismo recipiente en capas sin separación física entre ambas

resinas, dichas resinas son una de base débil y la otra de ácido fuerte ([WBA SAC]). El tiempo que transcurre entre dos regeneraciones es de 11 horas.

La conductividad media del agua de salida se quiere que sea de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el máximo valor de conductividad en el punto final es de 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. También es necesario introducir el promedio de pérdidas de sílice que es de 0,05 mg/l y el máximo nivel de sílice en el punto final que es de 0,1 mg/l.

En la empresa se tienen distintos compuestos químicos para la regeneración de las resinas, HCl al 35%, H_2SO_4 al 96%, NaCl al 26% y NaOH al 50%. Para la regeneración del ácido se utiliza HCl y para la regeneración básica se utiliza NaOH en frío. La regeneración es simultánea para la resina aniónica y catiónica, el efluente no necesita neutralización y el lavado se recicla para volver a utilizarse. El precio de los productos químicos empleados en el sistema tienen un coste de 208 €/tonelada de HCl al 35%, 128 €/tonelada de H_2SO_4 al 96% y 264 €/tonelada de NaOH al 50%.

Para regenerar la resina catiónica se utiliza una dosis de ácido de 80 g/l. Equivalentemente hay que utilizar una relación de 1,29 de NaOH respecto a la cantidad de iones de la resina que se quieren eliminar en la regeneración y se elimina un 75% de la materia orgánica.

El caso práctico propuesto contará de dos partes:

- En la primera se va a diseñar el sistema de intercambio iónico con las características adecuadas para obtener agua desmineralizada para calderas de vapor.
- En la segunda parte se va a realizar una evaluación económica del sistema de intercambio iónico diseñado.

6.1. Diseño práctico del sistema

Para comenzar a diseñar el sistema de desmineralización del agua hay que abrir el programa CADIX, una vez abierto, ir a la cabecera principal y seleccionar “File”/”New Project”/”Water demineralization”.

6.1.1. Ventana de inicio

La primera ventana que aparece explicada en el apartado 5.5.1, pide información general sobre el proyecto, como la empresa que realiza el proyecto, la planta que se va a diseñar y el destinatario. Como esta ventana no es obligatoria rellenarla (figura 6.1), solo se va a poner que el proyecto ha sido preparado por Cristina, el resto de casillas quedarán vacías.

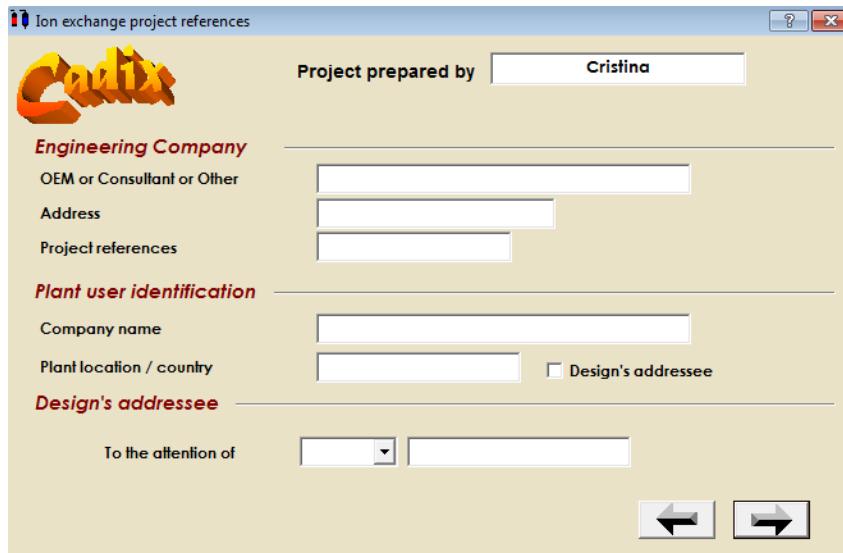


Figura 6.1: Información sobre el proyecto

6.1.2. Elección del proceso

En la siguiente ventana que aparece explicada en el apartado 5.5.2, se pide al usuario que elija el tipo de diseño que quiere realizar. Como se va a diseñar una nueva planta se elegirá “New Plant Design” (figura 6.2).



Figura 6.2: Elección del tipo de diseño

6.1.3. Composición del agua de alimentación

Seguidamente se deben llenar los cuadros blancos con la información del agua de alimentación que se vaya a utilizar en el proceso, la forma de completar ésta ventana aparece en el apartado 5.1.2 parte 5). En la figura 6.3 se encuentran ya todas las casillas llenas con la información proporcionada en el apartado 6.

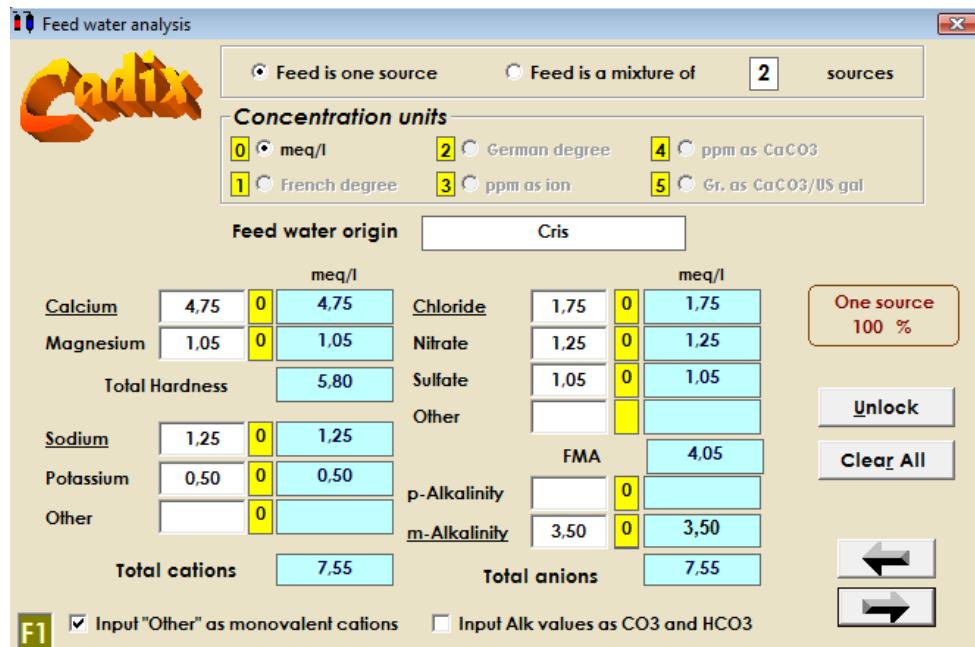


Figura 6.3: Composición del agua de alimentación

6.1.4. Propiedades del agua de alimentación

La siguiente ventana pide información sobre las propiedades del agua de alimentación que se vaya a utilizar en el proceso, se deben llenar los cuadros blancos con dicha información, la forma de completar ésta ventana aparece en el apartado 5.1.2 parte 5). En la figura 6.4 se encuentran ya todas las casillas llenas con la información proporcionada en la tabla 6.1 del apartado 6.

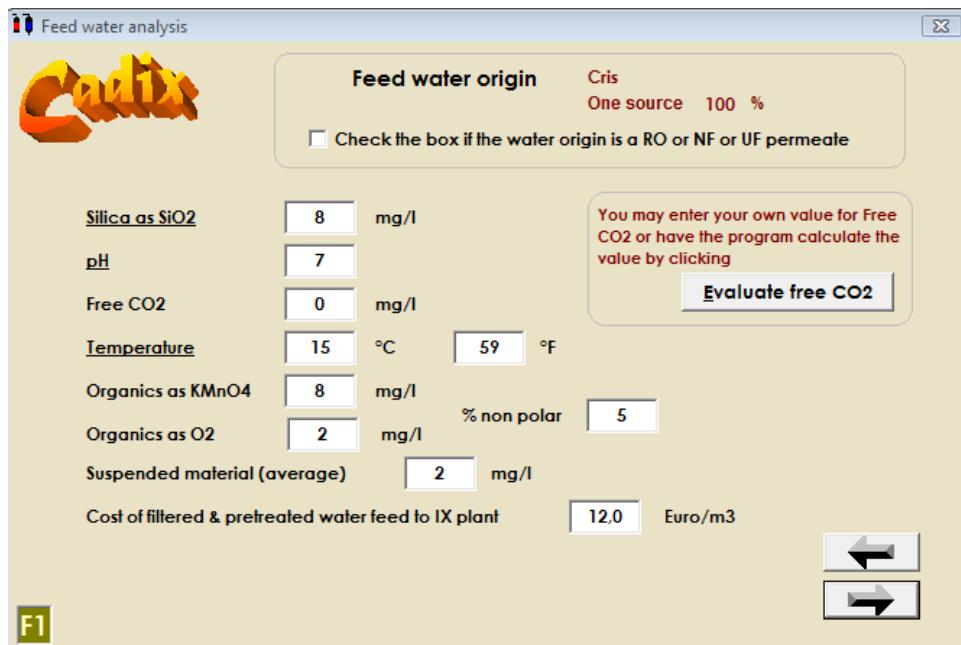


Figura 6.4: Propiedades del agua de alimentación

6.1.5. Sistema de regeneración

En la ventana de la figura 6.5, se pide información acerca del sistema de regeneración, dicha información a sido proporcionada en el apartado 6. Este apartado ha sido explicado en el apartado 5.5.3.3.

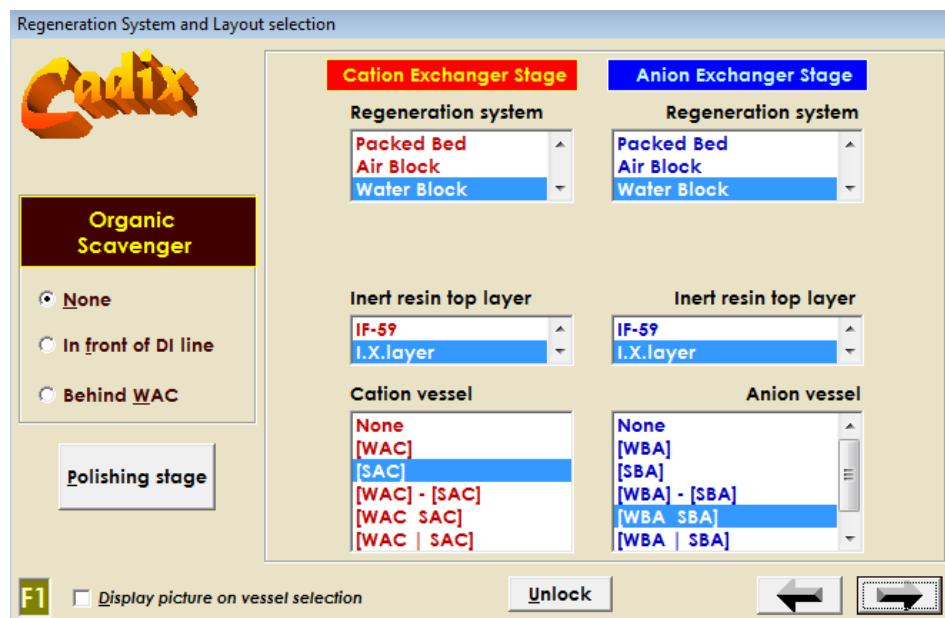


Figura 6.5: Sistema de regeneración utilizado en éste caso práctico

6.1.6. Parámetros de la planta

En el siguiente paso se deben introducir los parámetros utilizados en la planta (explicado en el apartado 5.5.3.4). La ventana se debe llenar con los datos proporcionados en la introducción del apartado 6.



Figura 6.6: Parámetros utilizados en la planta diseñada

6.1.7. Requisitos del agua de salida

En este apartado, explicado en el apartado 5.5.3.5, hay que introducir la conductividad y el nivel de sílice que hay en el agua con los datos proporcionados en el apartado 6. La ventana rellena esta mostrada en la figura 6.7.

Outlet water quality requirements

Please, enter the requirements for the demineralized water quality, before polishing stage, if any.

Fill-in either the conductivity or Na-level boxes. CADIX will automatically adjust the ppm or ppb levels.

Average conductivity	1	Max. conductivity at end-point	4	μS/cm
or		or		
Average cations leak as Na	0.095	Max. Na level at end-point	0.38	mg/l (ppm)
	95		377	μg/l (ppb)
Average silica leakage as SiO ₂	0.05	Max. silica level at end-point	0.1	mg/l (ppm)
	50		100	μg/l (ppb)

F1 Unlock ← →

Figura 6.7. Requisitos del agua de salida

6.1.8. Parámetros de la regeneración

En el siguiente paso se deben elegir los parámetros que afectan a la regeneración (explicado en el apartado 5.5.3.6) según los datos proporcionados en la introducción del apartado 6.

Regeneration parameters

Concentration of chemicals for regeneration

HCl	35	H ₂ SO ₄	96	NaCl	26	NaOH	50	% w/w
-----	----	--------------------------------	----	------	----	------	----	-------

Acid regeneration

Hydrochloric acid

H₂SO₄ constant %

H₂SO₄ stepwise %

Caustic regeneration

Cold NaOH (min. 15°C)

Warm NaOH (35°C)

Hot NaOH (50°C)

Effluent neutralization

Effluent neutralization required

Effluent neutralization not required

Regeneration mode

Simultaneous cation/anion regeneration

Separate cation/anion regeneration

Water for bed compaction

Cation exchange resins

Filtered raw

Demineralized

Decationized

Anion exchange resins

Decationized

Demineralized

Rinse mode

Rinse to waste

Rinse recycling

F1 Rinse recycling ← →

Figura 6.8: Parámetros de la regeneración

6.1.9. Selección de la resina DOWEX

Este apartado ya viene completado por el programa pero si se desea cambiar el tipo de resina, se debe seleccionar la deseada de las que aparecen en la figura 6.9.

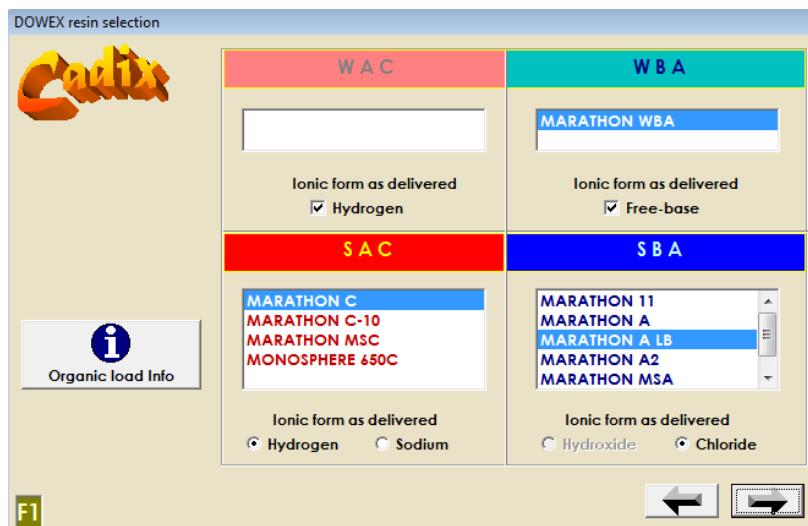


Figura 6.9: Selección de la resina DOWEX

6.1.10. Parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico

A continuación, tal como se muestra en la figura 6.10, se deben introducir los parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico según se explica en el apartado 5.5.3.9.



Figura 6.10: Parámetros del diseño de las resinas de intercambio iónico 1

Pinchando en la flecha de abajo a la izquierda sale el siguiente paso de los parámetros de diseño de las resinas de intercambio iónico mostrado en la figura 6.11 (explicado en el apartado 5.5.3.9).

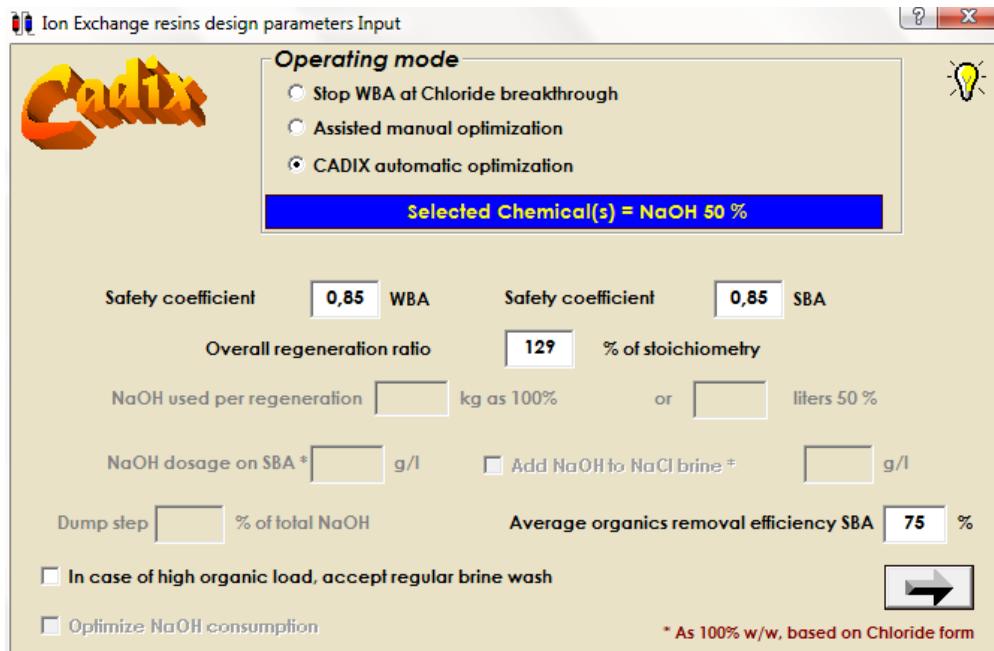


Figura 6.11: Parámetros del diseño de las resinas de intercambio iónico 2

6.1.11. Evaluación de la resina aniónica

En este paso el programa está evaluando todos los datos introducidos para obtener los resultados del proceso (figura 6.12).

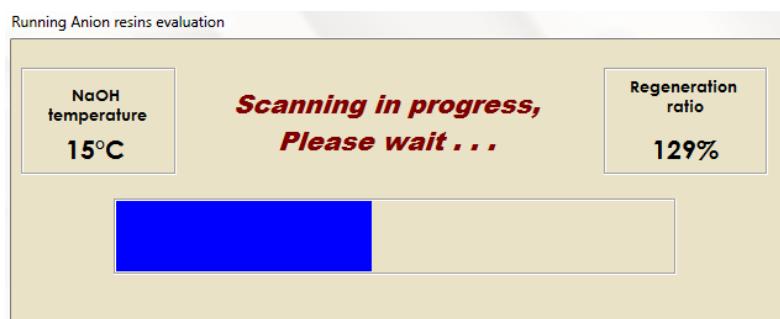


Figura 6.12: Ejecución de la evaluación de la resina aniónica

6.1.12. Resultados obtenidos

Para ver los resultados correspondientes al funcionamiento del sistema propuesto en el apartado 6, se pueden seguir las indicaciones del apartado 5.5.3.11. A continuación se muestra en la tabla 6.2 y en la tabla 6.3 los resultados principales, sabiendo que la resina catiónica es “Marathon C” y las aniónicas son “Marathon WBA” y “Marathon A LB”.

Tabla 6.2: Resultados del diseño de las resinas

	Unidades	Marathon C	Marathon WBA	Marathon A LB
Capacidad	litros	10.225	4.850	6.450
Caudal neto	m ³ /h	100	100	100
Tiempo entre dos regeneraciones	horas	11	11	11
Capacidad de operación	meq/l	976	947	686
Carga iónica	eq	9.238	4.590	4.419
Forma iónica empleada		Hidrógeno	Base libre	Cloruro
Regenerante		HCl	NaOH	NaOH
Dosis de regenerante	g/l	50		72,2
Altura inicial de la resina	mm	2.115	859	1.141
Caida de presión a 15ºC	KPa	45,2	18,2	21,5

Tabla 6.3: Resultados generales del diseño

	Unidades	Resultado
Tiempo de regeneración de la resina catiónica	minutos	105
Tiempo de regeneración de la resina aniónica	minutos	125
Tiempo total de regeneración	horas	2,75
Agua desmineralizada obtenida	m ³	72,6
Agua desionizada obtenida	m ³	51,3
Agua sin tratar filtrada obtenida	m ³	43,7
Agua total obtenida	m ³	168
HCl al 35% consumido en la resina catiónica	kg	1.351
	litros	1.151
NaOH al 50% consumido en la resina aniónica	kg	930
	litros	610

6.2. Evaluación económica

Para realizar una evaluación económica del sistema de intercambio iónico recién diseñado, se deben seguir los pasos explicados en el apartado 5.1.2 en la sección 1.

6.2.1. Introducción de los costes económicos

Se abre la evaluación económica desde la cabecera principal en “Tools”/”Comparative Cost Evaluation” y se rellena la primera ventana mostrada en la figura 6.13 con los datos proporcionados en el apartado 6, seguido clicar en “Ok”.

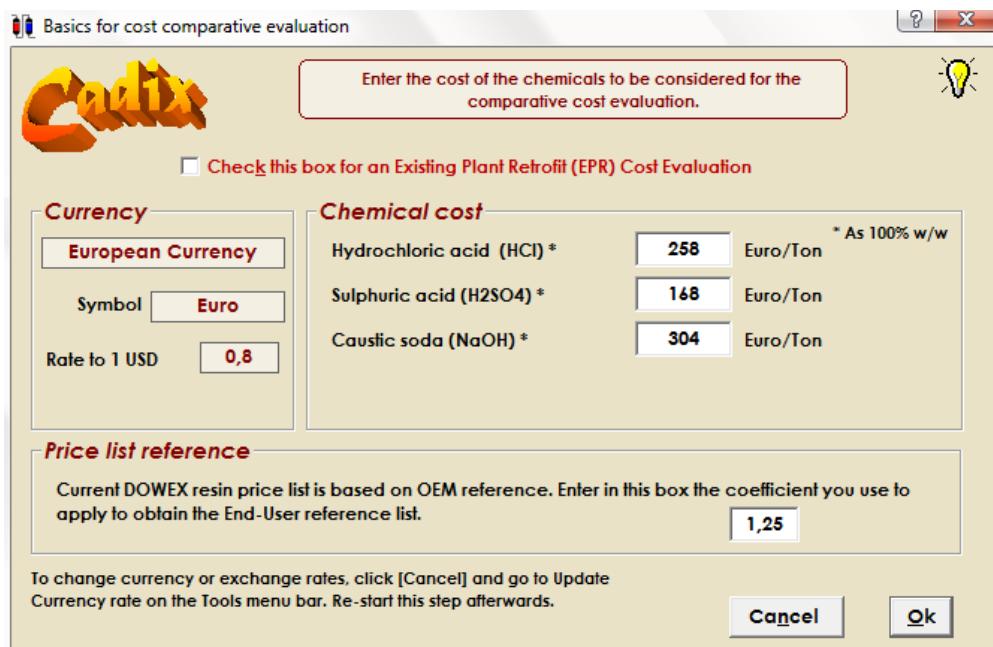


Figura 6.13: Introducción de los costes de los productos químicos

6.2.2. Apertura del archivo “CADIX” del sistema diseñado

Una vez introducido el coste de los productos químicos empleados, aparece una ventana para abrir el proyecto del cual se quiera realizar la evaluación económica que haya sido guardado con anterioridad. En este caso se debe seleccionar el archivo de “CADIX” guardado del sistema diseñado en el apartado 6.1 (figura 6.14) y clicar “Open” para abrirlo.

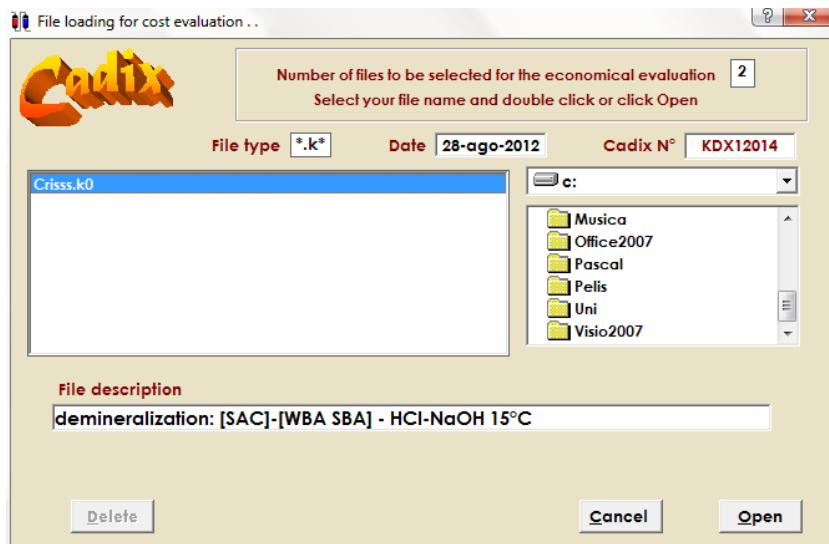


Figura 6.14: Apertura del archivo “CADIX” del sistema diseñado

6.2.3. Resultados de la evaluación económica

En el siguiente paso aparecerán dos páginas con los resultados de la evaluación económica referida a una sola fase de operación y regeneración o anualmente. En la tabla 6.4 y tabla 6.5 se muestran los resultados principales de la evaluación económica.

Tabla 6.4: Resultados anuales de la evaluación económica

	Unidades	Resultado
Acido usado al 100%	tonelada	574
NaOH usado al 100%	tonelada	564
Agua de servicio	m ³	203.292
Coste del ácido	€	107.653
Coste del NaOH	€	124.701
Coste del agua de servicio	€	2.202.963
Coste total de la regeneración	€	2.435.317

Tabla 6.5: Resultados generales de la evaluación económica

	Unidades	Resultado
Coste de la regeneración	€/m ³	11,61
Coste de la resina de intercambio iónico	€	110.730
Coste operativo en 10 años	€	24.539.842
Producción de agua por intercambio iónico al año	m ³	1.212.960
Coste de agua por intercambio iónico	€/m ³	11,62

7. Fuentes de información

PROYECTOS:

[1] Álvaro Muelas Expósito; “Manual de utilización del software “ROSA” para la simulación de unidades de ósmosis inversa. Directora: Eva Francés Pérez; Escuela de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad de Zaragoza. Convocatoria: Diciembre 2011.

LIBROS:

[2] Perry, Robert H.; Green, Don W. “Manual del ingeniero químico”. Séptima edición, volumen III. Mc Graw Hill. Madrid, 2001.

[3] J. M^a Martí Deulofeu. “Tratamientos de aguas”. Tercera edición. Stenco. Barcelona, Enero, 2004.

RECURSOS ELECTRÓNICOS:

[4] Descarga del software CADIX. Página de Dow Chemical. Consultado en junio de 2012. Disponible en:

http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/cadix.htm

[5] Fundamento del intercambio iónico. Consultado en junio de 2012. Disponible en:

http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf

[6] Aplicaciones del intercambio iónico. Consultado en junio de 2012. Disponible en:

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/resinasintercambio7.pdf>

[7] Aplicaciones del intercambio iónico. Consultado en junio de 2012. Disponible en:

http://www.fecyt.es/especiales/intercambio_ionic/o/aplicaciones.htm

[8] Variables del programa, Temperatura. Consultado en julio de 2012. Disponible en:

http://www.aqualatinoamerica.com/docs/pdf/nivel%20intermedio_mayo-junio.pdf

[9] Variables del programa, pH. Consultado en julio de 2012. Disponible en:

http://cabierta.uchile.cl/revista/29/mantenedor/sub/educacion_4.pdf

[10] Variables del programa, CO₂ libre. Consultado en julio de 2012. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/tecnologia.pdf>