

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Estudio y optimización térmica de una planta de tratamiento de residuos oleosos por oxidación en agua supercrítica para operación en régimen autotérmico

Autora: Celia LOAIZA GALLARDO

Fecha: Noviembre 2006





# **INTRODUCCIÓN**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **INDICE:**

<b>1.1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objeto del Proyecto</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Situación de las instalaciones</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Consideraciones sobre el papel medioambiental</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Conclusión</b>	<b>3</b>

## **1 INTRODUCCION**

### **1.1 Antecedentes**

El progresivo crecimiento de la población, el acelerado desarrollo de las ciudades y el progreso tecnológico han ocasionado toda una serie de conflictos derivados de la explotación de los recursos naturales y de la contaminación ambiental. Por ello se tiene la necesidad, cada vez mas acusada, de proteger el medio ambiente frente a las agresiones que recibe por parte de nuestra sociedad, en la que el desarrollo de numerosas tecnologías y prácticas industriales cada vez más productivas, suponen una amenaza para el equilibrio del planeta debido al volumen y la peligrosidad de los residuos que se generan.

El tratamiento de residuos industriales requiere soluciones específicas para cada tipo de actividad debido a la variabilidad en la composición de las corrientes residuales que se generan en los distintos sectores industriales. Con frecuencia las aguas residuales industriales contienen contaminantes de carácter tóxico agravándose entonces la dificultad de su adecuado tratamiento para conseguir llevar a cabo de forma eficiente su eliminación, transformando los componentes tóxicos y peligrosos a productos finales inocuos. En este sentido se están investigando nuevas tecnologías de depuración como alternativas a las convencionales, pues estas ultimas en muchos casos no son capaces de tratar residuos tóxicos o simplemente consiguen la separación y acumulación de los componentes nocivos en alguna de las fases, sin solucionar realmente el problema ambiental que generan.

En este sentido, el tratamiento de los residuos tóxicos y peligrosos ha adquirido una gran importancia en todo el mundo y esa necesidad de establecer métodos efectivos supone un compromiso para la ingeniería química y ambiental en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan la

eliminación de estos, transformando los componentes tóxicos y peligrosos en productos finales inocuos. Este último aspecto es fundamental, siendo cada vez más necesario que los escasos recursos hídricos puedan reutilizarse y no sean retirados o excluidos del ciclo natural del agua.

Uno de los principales problemas con los que se encuentra las instalaciones de tratamiento de residuos, es la necesidad de tener un suministro de energía continuo. El coste que éste genera provoca la búsqueda de nuevas formas para su obtención, intentando aprovechar al máximo los recursos propios con los que se cuentan.

## **1.2 Objeto del proyecto.**

El objetivo primordial del presente proyecto es el estudio de las condiciones de operación necesarias para el trabajo en régimen autotérmico de una planta piloto en la que se produce la transformación de residuos oleosos complejos procedentes de una planta de mecanizado de piezas metálicas, mediante oxidación en agua supercrítica, hasta productos inocuos, empleando oxígeno procedente del aire como agente oxidante, de forma que el efluente cumpla las condiciones impuestas por la legislación vigente. Para ello se realiza el estudio térmico completo del sistema, resolviendo los balances de materia y energía en las distintas unidades de operación de la planta piloto estudiada.

Cuando se lleva a cabo una reacción exotérmica, como ocurre en el proceso del presente proyecto, es deseable emplear en el sistema de una forma útil el calor producido por reacción. A menudo dicho calor se emplea para precalentar la alimentación del reactor cuando su temperatura es menor que la de la reacción. Un sistema reaccionante en el se hace tal uso del calor de reacción en la corriente de alimentación se dice que trabaja en régimen autotérmico. Este modo de trabajo se alcanza cuando el calor que se genera en la instalación es suficiente para llevar a cabo el calentamiento

de las sustancias a tratar en el sistema. En esas condiciones se dirá que existe un estado estacionario en el que el reactor opera autotérmicamente.

### **1.3 Situación de las instalaciones.**

La planta piloto se encuentra ubicada en las instalaciones del Centro Andaluz de Ciencia y Tecnologías Marinas, en adelante CACYTMAR, situado dentro del campus de la Universidad de Cádiz en Puerto Real.

### **1.4 Estudio de seguridad y salud en el trabajo.**

Como no existe una reglamentación específica para el trabajo en plantas piloto, la evaluación de los riesgos se ha realizado siguiendo las normas UNE, las guías y los documentos de apoyo publicados por organismos competentes (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Organismos de las Comunidades Autónomas, etc.), y las recomendaciones de las entidades reconocidas internacionalmente (Comisión Europea, CEN/CENELEC, ISO, OIT, OMS, etc.).

### **1.5 Consideraciones sobre el papel medioambiental.**

En base a la ley 10/1993 del 26 de Octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento, en España la concentración media máxima permisible de aceites de corte (mezclas de agua y aceite) en vertidos de aguas es de 100 mg/l, debiendo ser la Demanda Química Oxígeno (DQO) del vertido inferior a 1750 mg/l.

### **1.6 Conclusión.**

Con lo anteriormente expuesto, se considera que el proyecto ha sido redactado conforme a la legislación vigente y la solución que se presenta está adecuada a las mejores prácticas técnicas y científicas en esta materia.

# **MEMORIA GENERAL**

## **2. MEMORIA GENERAL**

### **INDICE:**

<b>2.1 Descripción general de la planta</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Oxidación hidrotérmica en condiciones supercríticas</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1 Propiedades del agua en condiciones supercríticas</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Ventajas del proceso OASC</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Inconvenientes del proceso OASC</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Residuos de taladrinas</b>	<b>19</b>
<b>2.5.1 Función de las taladrinas</b>	<b>19</b>
<b>2.5.2 Tipos de taladrinas según su composición</b>	<b>20</b>
<b>2.5.3 Modo de empleo de las taladrinas</b>	<b>23</b>
<b>2.5.4 Generación de los residuos de taladrinas</b>	<b>24</b>
<b>2.5.5 Características de los residuos de taladrinas</b>	<b>25</b>

## 2 MEMORIA GENERAL

### 2.1 Descripción general de la planta.

La planta piloto objeto del presente proyecto está ubicada en el CACYTMAR, situado dentro del campus de la Universidad de Cádiz en Puerto Real, y en ella se produce la transformación de residuos oleosos complejos procedentes de una planta de mecanizado de piezas metálicas denominados, taladrinas, mediante la oxidación de estos residuos en agua en condiciones supercríticas (oxidación en fase acuosa a elevadas presiones y temperaturas, superando el punto crítico del agua), hasta productos inocuos, empleando el oxígeno contenido en el aire como agente oxidante.

La planta piloto de oxidación en agua supercrítica (OASC) está diseñada para operar en continuo y consiste básicamente en un reactor tubular y unos elementos adicionales que incluyen los tanques de preparación de la alimentación e impulsión al sistema, el compresor, los intercambiadores de calor para precalentar la alimentación, la refrigeración del efluente del reactor, etc., de forma que se puedan llevar a cabo los experimentos para los que está diseñada la planta.

En la **figura 1** se representa un diagrama básico de la planta piloto objeto del presente proyecto fin de carrera. A continuación se describen las etapas del proceso y los componentes fundamentales del sistema de depuración mediante la tecnología OASC.

**Figura 1.** Diagrama básico de la planta piloto

1- Acondicionamiento de la alimentación y presurización:

La alimentación líquida ( residuo a tratar) que contiene compuestos orgánicos se almacena en un tanque que tiene un agitador de hélice para mantener homogéneo en todo momento el residuo a tratar. Desde este tanque el residuo, ha de bombearse hasta la presión de operación (250 bar). Por otro lado, el aire que suministra el compresor se almacena en unas botellas de alta presión desde las que se alimenta el sistema. De esta forma se evita que el compresor trabaje en continuo, lo que reduciría considerablemente la vida de funcionamiento de dicho equipo.

La presión se mantiene en el sistema a 250 bar mediante el empleo de una válvula reguladora de presión tipo “back”.

2- Precalentamiento:

Las corrientes de alimentación y oxidante se hacen pasar por sendos intercambiadores de calor de tubos concéntricos con circulación en contracorriente y aislados térmicamente por los que fluye el efluente de salida del reactor a alta temperatura, lo que posibilita la recuperación del calor generado en la reacción.

Ambas corrientes se mezclan a la entrada del reactor tubular, por contacto directo; la temperatura de la mezcla debe alcanzar como mínimo los 400°C, comenzando la oxidación hidrotérmica del residuo en condiciones supercríticas.

En la puesta en marcha de la planta, es necesario aumentar la temperatura de la alimentación para que alcance la temperatura necesaria como para que a la entrada del reactor alcance los 400°C y comience la reacción de oxidación. Para ello, la planta dispone de un sistema de precalentamiento eléctrico de tipo cable calefactor que están arrollados

alrededor de una tubería por el interior de la cual circula la alimentación líquida justo antes de su entrada al reactor y aislados de forma similar a los intercambiadores de calor de tubos concéntricos.

### 3- Reacción:

La mezcla de las corrientes de oxidante y residuo orgánico a elevada temperatura en el reactor origina una rápida reacción exotérmica que aumenta aún más la temperatura de la mezcla, acelerando el proceso de oxidación que se completa en tiempos de residencia muy reducidos. Tras la reacción, el efluente resultante es un fluido mezcla de compuestos a una temperatura en torno a los 600-650°C. Esta corriente es la que alimenta los intercambiadores de calor para el precalentamiento de las corrientes de entrada.

Tal y como ha quedado reflejado con anterioridad, la planta piloto está diseñada para que el proceso se automantenga desde un punto de vista energético, ya que mediante el calor liberado en el proceso de oxidación, se pretende precalentar la alimentación líquida y gaseosa para que alcance la temperatura requerida a la entrada del reactor. Para ello, para minimizar pérdidas energéticas es fundamental aislar térmicamente tanto el reactor como los intercambiadores de calor de las corrientes de entrada y el precalentador eléctrico, de forma que el calor liberado en la reacción se aproveche al máximo, y el sistema se pueda considerar adiabático.

### 4- Formación de sales y separación:

En el caso de que el residuo contenga inicialmente sales o éstas se produzcan durante la reacción, el sistema debe estar diseñado para separar dichas sales, puesto que precipitan debido a su insolubilidad en agua supercrítica. Debido a su mayor densidad, las sales caerían al fondo del reactor donde pueden ser disueltas y eliminadas en forma de salmuera

concentrada o eliminada periódicamente en forma sólida. La planta piloto objeto del presente proyecto no dispone de esta etapa ya que no es necesaria por las características del residuo a tratar.

#### 5- Enfriamiento

Una vez terminado el proceso de intercambio calorífico, el efluente de salida de los intercambiadores puede presentar aún un exceso de energía térmica por lo que, además de precalentar las líneas de alimentación, podría ser objeto de un aprovechamiento energético. No obstante, en la planta piloto en estudio no se lleva a cabo este aprovechamiento.

El efluente de salida sigue estando a una temperatura elevada, por lo que se hace necesario un tercer proceso de intercambio, para que alcance unas condiciones aceptables para su entrada en el separador gas-líquido final. Este proceso se lleva a cabo en un enfriador multietapa comercial, que utiliza agua de red como refrigerante.

#### 6- Despresurización y Separación de Fases

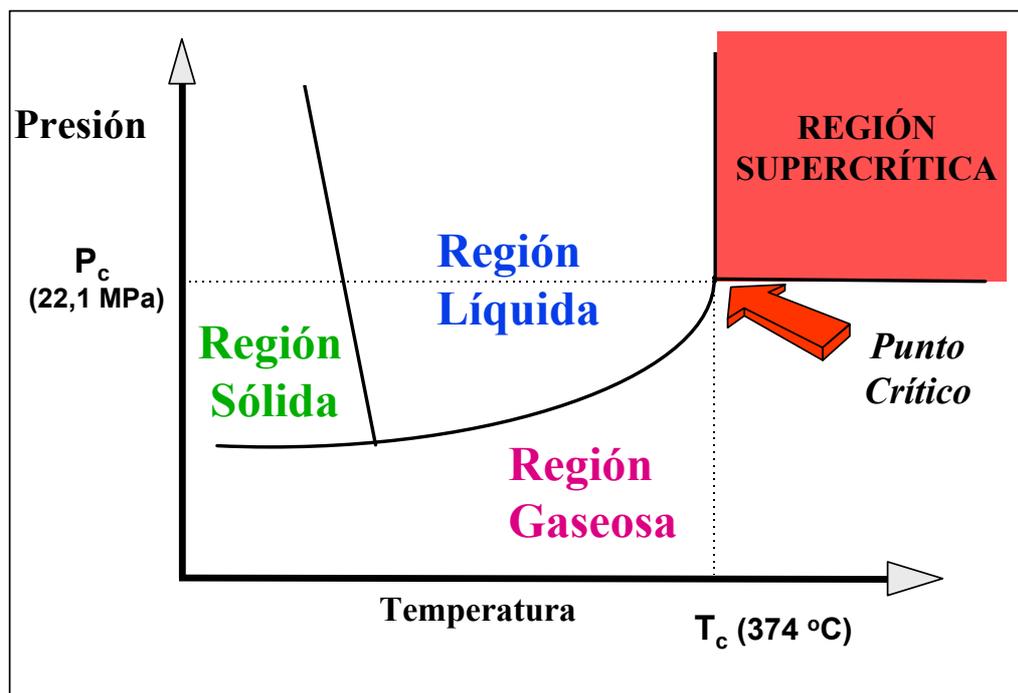
La corriente, una vez enfriada, se despresuriza haciendo uso de la electroválvula reguladora de presión para posteriormente entrar en el separador gas-líquido, donde la corriente se separa en una fase gaseosa que es dirigida a la atmósfera y una fase líquida que es dirigida al desagüe.

### **2.2 Oxidación hidrotérmica en condiciones supercríticas**

La Oxidación en Agua SuperCrítica (OASC) es un proceso de oxidación donde se opera en condiciones de presión y temperatura superiores a las que definen el punto crítico del agua (221 bar y 374°C, respectivamente). En este caso se suman las ventajas del proceso de oxidación con las especiales características de los fluidos supercríticos,

aumentando la eficacia de destrucción de los contaminantes y reduciendo el tiempo de reacción necesario.

En la **figura 2** se presenta el diagrama de fases del agua. A lo largo de la curva de vaporización, a medida que aumentan la presión y la temperatura para las fases líquidas y vapor en equilibrio, en el líquido disminuyen las interacciones intermoleculares debido a la expansión térmica. Por el contrario, para el vapor prevalece el efecto de la compresión frente al de la expansión térmica, produciéndose un aumento de las interacciones. De este modo, las propiedades del líquido y del vapor se van acercando hasta que, llegados al punto crítico, coinciden. En este punto, existe una sola fase (fase supercrítica) con propiedades intermedias entre la de los líquidos y los gases.



**Figura 2.** Diagrama de fases del agua

### 2.2.1 Propiedades del agua en condiciones supercríticas

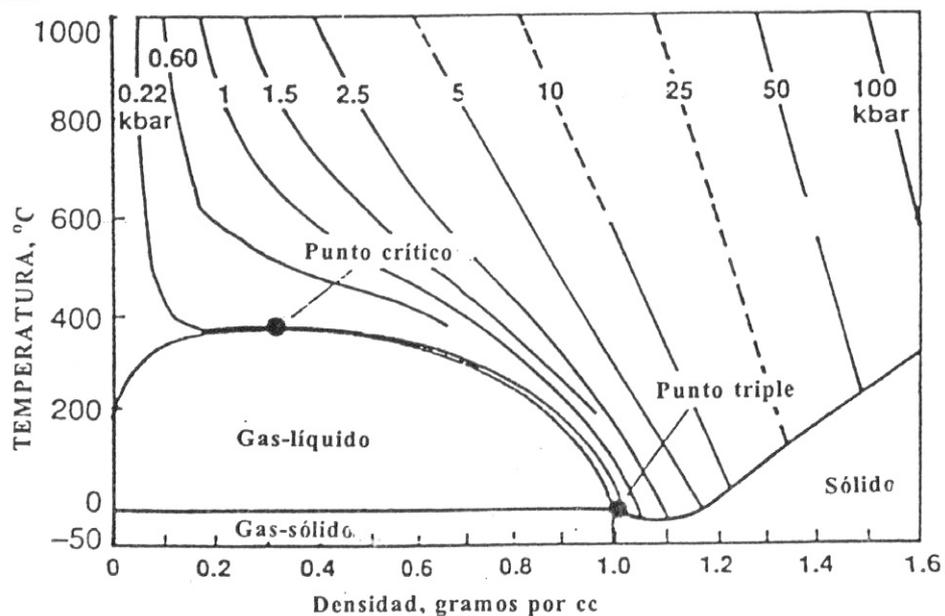
Las propiedades del agua a presiones y temperaturas bajas han sido ampliamente estudiadas y su comportamiento es conocido. Sin embargo, en las cercanías del punto crítico estas propiedades sufren grandes modificaciones y no están tan bien caracterizadas.

Las especiales propiedades que presenta el agua en estado supercrítico han provocado que aumente el interés sobre su estudio como medio de reacción, principalmente para la oxidación de compuestos orgánicos, pero también como sustituto de disolventes orgánicos en reacciones químicas de síntesis. Así, además de la oxidación hidrotérmica, se han realizado estudios de hidrogenación/deshidrogenación, oxidación parcial, eliminación, hidrólisis, hidratación / deshidratación, etc. (Savage, 1999).

A continuación se detallan las principales características del agua supercrítica:

- Densidad

En la cercanía del punto crítico la densidad es una función extremadamente dependiente de la presión, ya que el fluido es altamente comprensible. De hecho, en dicho punto la comprensibilidad se hace infinita por definición. Así, las propiedades dependientes de la densidad, tales como el parámetro de solubilidad, la constante dieléctrica del disolvente y el volumen molar parcial del soluto sufren grandes cambios al producirse pequeñas variaciones en la presión y la temperatura. En la figura 3 se presenta el diagrama temperatura-presión-densidad para el agua pura.

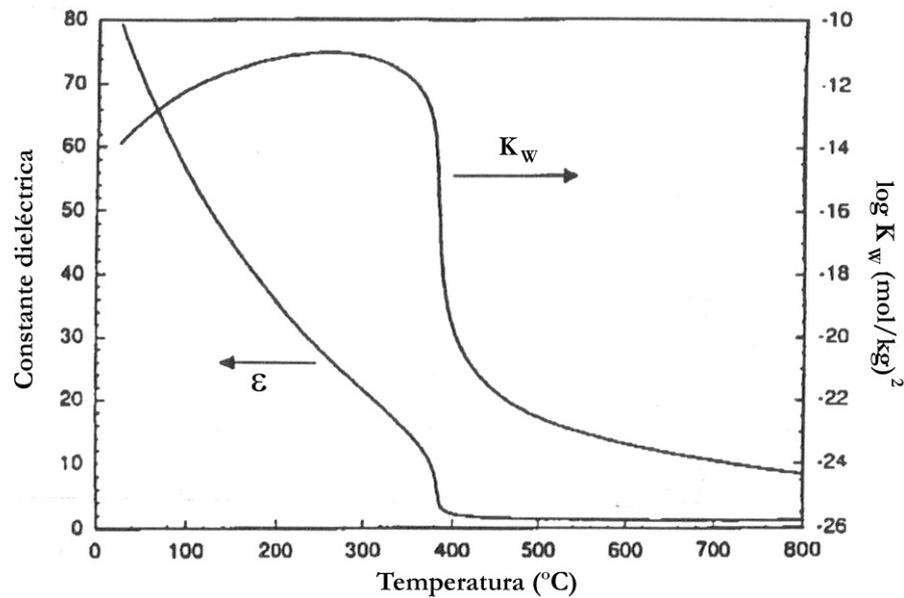


**Figura 3.** Diagrama temperatura-presión-densidad para el agua pura (Shaw y col., 1991).

La densidad del agua supercrítica podrá controlarse desde valores cercanos a los líquidos hasta los valores próximos a los del estado gaseoso, simplemente variando las condiciones de presión y temperatura. En el punto crítico la densidad del agua, conocida como densidad crítica, es de  $0,325 \text{ g/cm}^3$ . En la región crítica la densidad del agua es del orden de  $0,1 \text{ g/cm}^3$  (Modell, 1989).

- Constante dieléctrica

La constante dieléctrica del agua a  $25^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$  tiene un valor de 80 y es consecuencia de las uniones entre distintas moléculas por puentes de hidrógeno. Sin embargo, la constante dieléctrica del agua disminuye hasta un valor de 5-10 en las proximidades del punto crítico y hasta 1-2 a  $450^\circ\text{C}$  (Uematsu y Frank, 1980), por lo que el agua supercrítica tiene un comportamiento más parecido a un disolvente apolar que a uno polar. En la figura 4 puede observarse la variación de la constante dieléctrica con la temperatura.



**Figura 4.** Variación de la constante dieléctrica y el producto iónico del agua con la temperatura (Tester y col., 1993).

Las interacciones que predominan en estas condiciones son las del tipo dipolo-dipolo. Así, el agua como fluido supercrítico es un disolvente eficaz para los compuestos orgánicos y es completamente miscible con gran cantidad de gases, incluido el oxígeno.

Por otro lado, el pequeño valor de la constante dieléctrica hace que las sales inorgánicas se hagan prácticamente insolubles en agua supercrítica. Concretamente, para el NaCl la solubilidad llega a ser menor de 100 ppm y para el CaCl<sub>2</sub> puede ser menor de 10 ppm. En la figura 5 puede observarse la variación de la solubilidad de distintas sales con la temperatura.

- Producto iónico

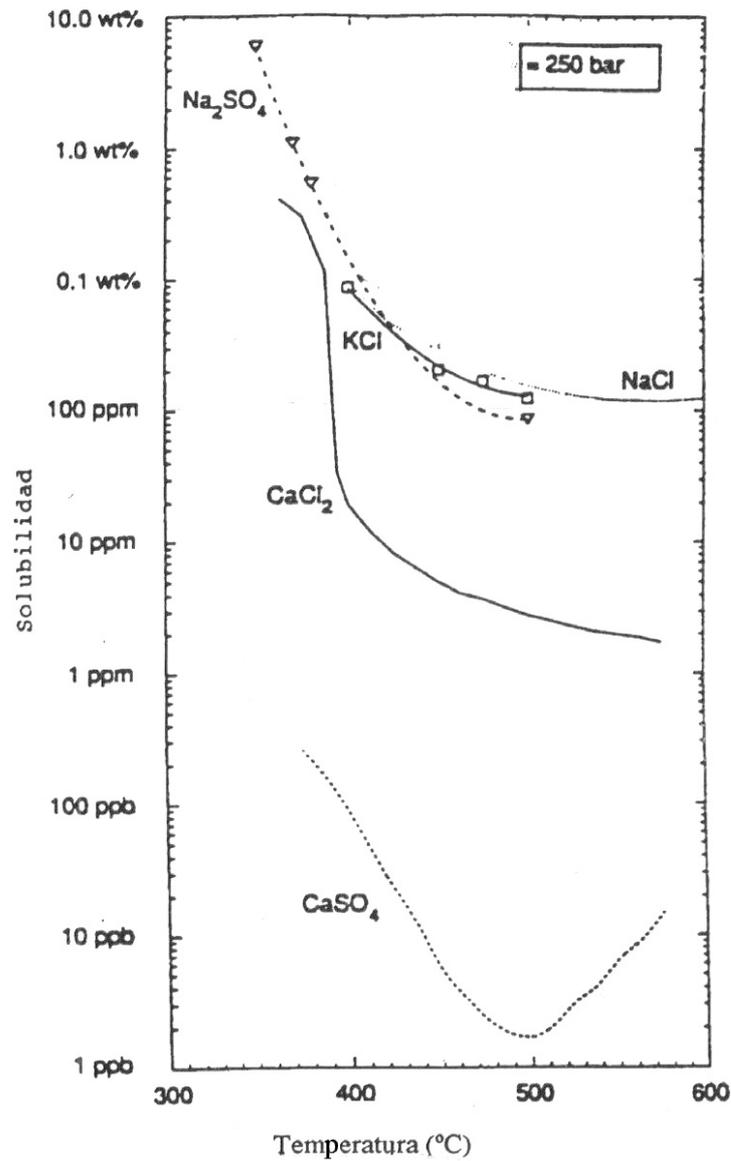
El producto iónico, o la constante de disociación ( $K_w$ ) del agua es hasta tres órdenes de magnitud mayores en la región líquida cercana al punto crítico que a temperatura ambiente. Esto significa que, en esas condiciones, pueden existir concentraciones mayores de los iones  $H^+$  y  $OH^-$ ,

por lo que el agua se convierte en un medio pobre para las reacciones iónicas. En la figura 4 pueden observarse estas variaciones con la temperatura.

- Viscosidad

El agua supercrítica presenta una viscosidad un orden de magnitud menor que el agua líquida y, por lo tanto, los coeficientes de difusión y movilidad iónica son un orden de magnitud mayor.

Cuando la densidad del agua supercrítica es alta, su viscosidad es baja comparada con la que corresponde al líquido en condiciones normales. De este modo las moléculas de soluto difunden con facilidad a través del agua supercrítica, hecho que ayuda a que sea un medio muy favorable para que las reacciones tengan lugar a gran velocidad.

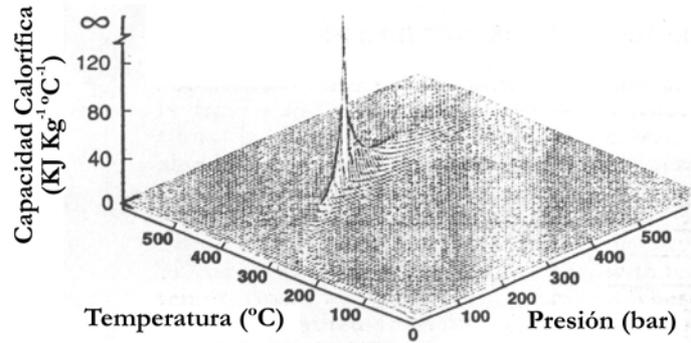


**Figura 5.** Solubilidad de distintas sales en agua con la temperatura a 250 bar (Tester y col., 1993).

- Calor específico

En la figura 6 se puede observar la variación del calor específico del agua en función de la presión y temperatura. El calor específico varía en un amplio rango de presión y temperatura, con valores que tienden a infinito en la cercanía del punto crítico. Esto se debe al aporte energético que se

necesita para realizar la fuerte expansión térmica que sufre el agua en las cercanías del punto crítico (Shaw y col, 1991).



**Figura 6.** Variación del calor específico con la presión y la temperatura (Shaw y col., 1991).

- Conductividad térmica

La conductividad térmica del agua aumenta, a presión constante, con la temperatura hasta alcanzar un máximo a los 250°C para disminuir levemente a temperaturas supercríticas como consecuencia de la ruptura de los puentes de hidrógeno.

Para la realización del presente proyecto, los valores de las propiedades del agua se han tomado de <http://webbook.nist.gov>

### 2.3 Ventajas del proceso OASC

Gracias a la solubilidad que presentan los compuestos orgánicos y el oxígeno en el agua supercrítica, es posible obtener una única fase homogénea de reacción en la que los contaminantes orgánicos y el agente oxidante están en íntimo contacto, por lo que el proceso de oxidación tiene lugar sin limitaciones interfaciales de transferencia de materia, lo que

aumenta considerablemente la velocidad efectiva de reacción y permite prescindir de medios mecánicos de agitación, simplificando mucho el diseño del reactor. Por otro lado, debido a la temperatura y densidad molecular del medio, las reacciones de oxidación convencionales tienen lugar de forma rápida y completa.

En principio, cualquier compuesto orgánico puede ser completamente oxidado con este sistema hasta compuestos relativamente inocuos, dando como productos mayoritarios dióxido de carbono y agua. Los compuestos que contengan nitrógeno, independientemente de su estado de oxidación, son oxidados a  $N_2$  y  $N_2O$ , pues, como predicen los cálculos termodinámicos, no se producen otros óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) debido a las relativamente bajas temperaturas de reacción. De hecho, las emisiones de  $NO_x$  son generalmente del orden de 1 ppb. Los heteroátomos de compuestos orgánicos se convierten en compuestos inorgánicos, generalmente ácidos, sales u óxidos. El azufre se convierte en sulfato, el fósforo en fosfato y los halógenos originan los correspondientes haloácidos. Excepto ácidos como  $H_2SO_4$  y  $HCl$ , los compuestos inorgánicos son insolubles en las condiciones de operación de la OASC. Los ácidos pueden ser neutralizados "in situ" para formar sales que posteriormente precipitarán, ya que cualquier sal inorgánica u óxido que esté inicialmente presente en el residuo a tratar o que se forme por reacción química, precipitará en las condiciones de reacción.

El proceso OASC se ha aplicado con éxito a gran cantidad de residuos acuosos orgánicos, en escala piloto y experimental, alcanzando eficacias de destrucción de hasta 99,99%, con tiempos de residencia del orden de segundos a minutos. En la tabla 1 se presenta una recopilación de los residuos industriales más representativos que han sido estudiados desde que comenzara a estudiarse el proceso OASC.

<b>Residuo</b>	<b>Rango de Temperatura (°C)</b>	<b>Autores</b>
Industrias papeleras	550-650	Modell y col, (1992)
Industria electrónica	500-650	Steeper y Rice, (1993)
Radioactivos	500-650	Steeper y Rice, (1993)
Residuos DNT	250-500	Li y col, (1993b)
PCBs	600-625	Staszak y col, (1987)
Partículas sólidas	540	Pisharody y col, (1996)
Compuestos aromáticos	400-500	Houser y col, (1996)
Lodos urbanos	200-600	Goto y col,(1998) y (1999a); Motonobu y col, (1999)
Destilerías de alcohol	200-600	Goto y col, (1998) (1999a)
Colorantes textiles	340-480	Martín, (1998) Alonso y col, (1999)
Lignina sulfonada	305-505	Drews y col, (2000)
Taladrinas	400-500	Portela y col, (2001a) y (2001b)
Industria textil	423-573	Chen y col, (2003)
Lodos urbanos e industriales (biosólidos)	300-450	Shanableh, (2005)
Industria manufactura LCD (liquid cristal display)	396-615	Veriansyah y col, (2005)

**Tabla1.** Resumen de algunos residuos industriales eliminados mediante el proceso OASC. En ninguno de los casos presentados se utilizaron catalizadores.

## 2.4 Inconvenientes del proceso OASC

A pesar de las propiedades tan prometedoras que desde un principio ha presentado y demostrado el proceso OASC, existen dos problemas fundamentales que han impedido la implantación comercial de la tecnología a gran escala:

- El primer problema importante que presenta el sistema es la naturaleza corrosiva del medio de reacción debido a las severas condiciones de operación. Además, a veces los problemas de corrosión se ven incrementados por la presencia de compuestos clorados, puesto que la combinación de cloro, oxígeno y agua supercrítica es altamente corrosiva.
- El otro gran problema que presenta el proceso OASC aparece en el tratamiento de residuos inorgánicos, debido a la precipitación de sólidos en el medio de reacción. En general, los óxidos sólidos que se forman no son adherentes y se desplazan junto al fluido, mientras que las sales, principalmente las que contienen cloro, sulfato o carbonato, se adhieren tenazmente a las superficies sólidas con las que entran en contacto, llegando a obstruir el reactor en cortos periodos de tiempo.

Mientras no se encuentre una solución a ambos problemas, la aplicación del proceso OASC a escala industrial estará muy limitada técnica y económicamente, y no llegará a ser un proceso de tratamiento totalmente implantado en la depuración de residuos, sino que quedará restringido su uso a casos muy concretos. En el caso de la planta piloto en estudio podemos considerar estos problemas como despreciables, por las características propias de los residuos de taladrinas y que a continuación se presentan.

## **2.5 Residuos de taladrinas**

### **2.5.1 Función de las taladrinas**

Se conoce como taladrinas a los productos empleados como fluidos de corte y mecanizado que se aplican al contacto pieza-herramienta para mejorar la operación en la que participan, esto es, para lograr un mejor acabado superficial, una producción más elevada y una vida más larga de las herramientas o la instalación.

Las taladrinas, como todos los fluidos de mecanizado, se emplean básicamente en la transformación del metal y en menor medida en la del vidrio. Las funciones principales de los fluidos utilizados en la fabricación de piezas metálicas son:

- La lubricación, con objeto de prolongar la vida de las herramientas y reducir la energía de fricción.
- La refrigeración, con el fin de evitar un sobrecalentamiento de las piezas y herramientas.
- La evacuación de limaduras, indispensable para evitar el efecto abrasivo de las mismas y poder proseguir con la actividad en cuestión.

La composición de las taladrinas se elige en función del objeto básico de la operación teniendo siempre en cuenta que el mejor lubricante es el aceite y el mejor refrigerante es el agua. Procesos que generan importantes fricciones (extrusión de tubos, laminación) emplearán fluidos con alto poder lubricante, es decir, aceite o taladrinas emulsionables. Al contrario, procesos que generan mucho calor (taladrado, fresado, rectificado...) se refrigerarán con agua o taladrinas de alto contenido en agua.

Además, los fluidos de corte han de incorporar otro gran conjunto de aditivos, entre los que cabe destacar los siguientes: tensioactivos (sulfonatos de sodio, glicoles, etc.), humectantes (alcoholes, fosfatos, etc.), antiespumantes (ésteres, siliconas, derivados etoxiliados, etc.) biocidas (formoles, fenoles, etc.), aditivos para operaciones a alta presión, etc.

### **2.5.2 Tipos de taladrinas según su composición**

Como se ha mencionado, la composición de las taladrinas varía básicamente en función de la finalidad de la aplicación y el material a transformar. Las taladrinas pueden contener todas o parte de las sustancias que se indica en la **tabla 2** y las proporciones aproximadas de los mismos se muestra en la **tabla 3**.

Las taladrinas se comercializan como concentrados que posteriormente son diluidos “in situ” con agua. Existen numerosos productos estándar de las diferentes empresas suministradoras, aunque en ocasiones se realizan formulaciones específicas para cada cliente.

Las taladrinas pueden clasificarse, de modo simplificado, en tres tipos:

- Taladrinas en base a emulsiones de aceite. El concentrado se aplica al 5% (variando del 3 al 10% según la clase) y contiene un 60 a 80% de aceites minerales o vegetales, un 20% de emulgentes, hasta un 10% de agua y un 10% de aditivos varios como anticorrosivos, bactericidas y aditivos de extrema presión. Se emplean en operaciones en las que la función lubricante de la taladrina es prioritaria, como la laminación y la embutición.
- Taladrinas semi-sintéticas. El concentrado se aplica entre el 2 y el 6% y contiene como base entre 20 y 50% de agua, un 10 a 40% de aceites minerales o sintético, un 10 a 30% de aditivos varios,

básicamente anticorrosivos. Su uso se extiende a operaciones en las que la lubricación y refrigeración son importantes, como es el mecanizado (taladrado, fresado,...) y el rectificado. Este tipo de taladrinas son las que se han empleado para el estudio térmico de la planta piloto ya que son las más usadas en la industria de mecanizado.

- Taladrinas sintéticas. El concentrado se aplica de media al 2,5% (entre el 2 y el 5%). Su composición incluye un 40-60% de agua y aditivos varios como humectante en un 20%, un 15 a 40% de anticorrosivos y un 10% de otros aditivos, pudiendo contener reducidas proporciones de aceite. Se emplea en operaciones en las que la función refrigerante de la taladrina es prioritaria, como es el mecanizado a alta velocidad y el rectificado.

Tipos de compuestos	Compuestos más empleados
Refrigerantes	Agua
Lubricantes	Aceite mineral (nafténicos, parafínicos...) Aceite vegetal/animal (aceite de colza...) Aceites sintéticos (glicoles...)
Emulgentes	Aniónicos (sulfonatos...) No iónicos (nonilfenoles, oxidos de etileno...)
Inhibidores de la corrosión	Aminas (monoditrietanolamina) Boratos Nitritos Otros (ácido butilbenzoico...)
Humectantes/estabilizantes	Alcoholes (poliglicoles) Fosfatos (fosfatos de aminas)
Biocidas	Formoles (triacinas y precursores) Fenoles
Aditivos de extrema presión	Azufrados Clorados (parafinas cloradas) Otros (grasas, aditivos fosforados...)
Antiespumantes	Siliconas (alquil-aril polisiloxanos)
Complejantes	Orgánicos (EDTA...)
Colorantes	Diversos
Metales pesados	Molibdeno, cinc

**Tabla 2.** Compuestos típicos contenidos en gran parte en las taladrinas. (IHOBE, 1999).

Tipo de fluido de mecanizado	Composición en concentrados (%vol.)				Disolución en agua (%vol.)	
	Agua	Aceite	Emulgentes	Aditivos	Rango	Usual
Aceite de corte	0	96	0	4	-	-
Taladrina						
-Emulsión de aceite	<10	60-80	20	10	3-10	5
-Emulsión semisintética	20-50	10-40	10-30	10-30	2-6	2-6
-Solución sintética	40-60	<5	>0	40-60	2-5	2-5
Agua	100	-	-	-	-	-

**Tabla 3.** Composición aproximada de los diferentes tipos de taladrina y otros fluidos de mecanizado. (IHOBE, 1999).

### 2.5.3 Modo de empleo de las taladrinas

Básicamente el modo de operar de las máquinas-herramientas que utilizan taladrinas es muy similar. Las instalaciones, como por ejemplo el taladro, la rectificadora, etc., disponen de un depósito adosado en el cual se introduce la taladrina diluida a partir del concentrado comercial. La taladrina se inyecta desde el depósito hasta la zona de contacto entre las herramientas y la pieza a trabajar, y desde ahí escurre nuevamente hasta la citada cuba de almacenamiento de taladrina.

Realizando un balance de materia a la taladrina se observa que parte de ella se arrastra con las virutas y piezas, parte se pierde en derrames o salpicaduras y un elevado porcentaje de la taladrina se evapora. Aun así, el factor que más influye en el consumo de taladrina lo representa el vaciado periódico de los depósitos de las instalaciones adosados a la máquina.

#### **2.5.4 Generación de los residuos de taladrinas**

Durante el proceso de aplicación, la taladrina pierde cualidades, es decir, se va agotando progresivamente. Existen dos causas fundamentales para ello. Por un lado el “estrés” mecánico y térmico del proceso sobre la taladrina y por otro la acumulación de sustancias contaminantes que se van incorporando, como aceites parásitos, partículas sólidas y bacterias.

Las taladrinas se desechan, considerándose agotadas cuando:

- El resultado del mecanizado no es óptimo (calidad superficial de piezas, precisión, corrosión de herramientas)
- La composición inicial ha sufrido alteraciones importantes (por ejemplo, disminución de concentración de aditivos) que dificultan una redosificación.
- Se inicia el proceso de descomposición microbiológico, con los consiguientes olores y pérdidas de propiedades.
- La concentración de sustancias contaminantes como nitritos, nitrosaminas, gérmenes, metales pesados... es elevada y puede causar problemas de salud laboral.

En algunas instalaciones, las pérdidas son tan cuantiosas que es necesaria la reposición continua de los baños de taladrinas con taladrinas frescas, lo que aumenta en gran medida la vida media de dicho baños. No obstante, en este último caso, la cantidad de taladrina presente en las aguas aceitosas es bastante elevada.

La generación de taladrinas agotada, es decir, el cambio del baño por contaminación o descomposición del mismo, se puede evitar en numerosas ocasiones por la adopción de medidas adecuadas. Las medidas preventivas van básicamente dirigidas a:

- Alargar la vida de los baños
- Reducir derrames y arrastres
- Implantar procesos de escasa generación de residuos

De estas medidas preventivas, alargar la vida del baño es el factor de ahorro económico y ecológico más importante en una sección de mecanizado, ya que el alargamiento de la vida de los baños implica directamente una reducción en el volumen de generación de residuos de taladrinas. Las principales acciones para conseguirlo son: emplear agua desionizada para realizar las reposiciones de taladrina, evitar, reducir o extraer los principales contaminantes que reducen la estabilidad y eficacia de las taladrinas ( aceites parásitos, partículas sólidas metálicas, microorganismos,...), y realizar controles periódicos de la calidad de los baños para detectar a tiempo síntomas de degradación y las tomar medidas necesarias para estabilizarlos.

La generación de baños agotados de taladrinas es hoy por hoy reducible pero no inevitable. Así, el consumo de taladrina concentrada supera las 2200 toneladas anuales en la Comunidad Autónoma del País Vasco, que tras su utilización, dan lugar a un total de 31500 toneladas de residuos de taladrinas agotadas (IHOBE, 1999), y solo el 42% de estos residuos se tratan de modo adecuado en la propia empresa o entregándose a un gestor autorizado; el resto, se vierte directamente a los colectores de saneamiento o cauces de los ríos. Por su parte, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía cifra la producción de residuos derivados de la utilización de taladrinas en 2000 toneladas / año, concentrándose su producción en las zonas industriales de la Bahía de Cádiz, Sevilla, Huelva y Linares.

### **2.5.5 Características de los residuos de taladrinas**

Las taladrinas agotadas tienen cualidades irritantes y ecotóxicas debido a que contienen metales pesados, biocidas, gérmenes nocivos y

productos de descomposición de carácter maloliente y /o tóxicos, nitrosaminas, compuestos de boro, etc., que en caso de contacto con la piel pueden causar irritaciones y daños en los operarios. Por estas razones, la normativa española clasifica este residuo como peligroso. La Ley de Residuos 10/98 y los Reales Decretos 833/88 y 952/97 regulan la manipulación y la gestión de estos residuos.

Pese a la clasificación de las taladrinas agotadas como residuos peligrosos, una gran cantidad de estas sustancias continúan siendo vertidas tanto a cauces como a colectores de saneamiento. La evacuación de taladrinas agotadas por colector, puede ocasionar grandes problemas de operación en una planta de tratamiento de aguas residuales, originados básicamente por el carácter tóxico de los aceites y emulgentes. Además, la acumulación de metales pesados en los lodos contribuye a elevar el costo de los tratamientos de aguas. En caso de vertido a cauce, las taladrinas agotadas pueden causar una importante mortandad en la fauna piscícola debido a los numerosos componentes tóxicos que contienen, tales como nitritos y fenoles. Las emulsiones aceitosas dificultan aún más el intercambio de oxígeno entre aire y atmósfera, contribuyendo a la desoxigenación de las aguas con los consiguientes efectos negativos. Además, compuestos persistentes como las parafinas cloradas y los metales pesados se acumulan en organismos de consumo humano con los consiguientes riesgos para la salud.

Todo lo anterior implica la necesidad incuestionable de tratar los vertidos procedentes de la utilización de las taladrinas previamente a su evacuación a los cauces receptores o a los colectores municipales. Por ello, es necesario conocer las ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento más empleadas. En la planta piloto objeto de estudio en el presente proyecto se aplica la tecnología OASC.

# **MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **3. MEMORIA DESCRIPTIVA**

#### **INDICE:**

<b>3.1 Objeto del Proyecto</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Descripción de los equipos principales de la planta piloto</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1 Reactor</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2 Bomba dosificadora</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3 Compresor</b>	<b>31</b>
<b>3.2.4 Intercambiadores de calor para la corriente líquida</b>	<b>32</b>
<b>3.2.5 Intercambiador de calor para la corriente de aire</b>	<b>33</b>
<b>3.2.6 Sistema de precalentamiento eléctrico de la alimentación</b>	<b>33</b>
<b>3.2.7 Enfriador multietapa</b>	<b>34</b>
<b>3.2.8 Separador gas-líquido</b>	<b>34</b>
<b>3.2.9 Tanques de alimentación</b>	<b>35</b>
<b>3.2.10 Botellas de almacenamiento de aire a presión</b>	<b>36</b>
<b>3.2.11 Aislamiento térmico</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Sistemas de medición, control y adquisición de datos</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1 Dispositivos de medición</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1.1 Caudal de corriente líquida</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1.2 Caudal de corriente gaseosa</b>	<b>39</b>
<b>3.3.1.3 Medición de temperaturas</b>	<b>40</b>
<b>3.3.1.4 Medición de presión</b>	<b>40</b>
<b>3.4 Dispositivos y estrategias de control y regulación</b>	<b>42</b>
<b>3.4.1 Regulación de la presión del sistema</b>	<b>42</b>
<b>3.4.2 Regulación del caudal de alimentación líquida</b>	<b>43</b>

<b>3.4.3 Regulación del caudal de aire</b>	<b>43</b>
<b>3.4.4 Regulación del caudal de refrigeración en el enfriador</b>	<b>44</b>
<b>3.4.5 Control de apertura / cierre de la corriente de salida de tanques de alimentación</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Sistemas de adquisición de datos</b>	<b>45</b>
<b>3.6 Sistemas de seguridad</b>	<b>45</b>
<b>3.6.1 Elementos de seguridad</b>	<b>46</b>
<b>3.6.1.1 Panel de control</b>	<b>46</b>
<b>3.6.1.2 Discos de ruptura</b>	<b>46</b>
<b>3.6.1.3 Protecciones eléctricas</b>	<b>46</b>
<b>3.6.1.4 Protecciones de software</b>	<b>46</b>

### **3 MEMORIA DESCRIPTIVA**

#### **3.1 Objeto del Proyecto.**

El objeto del presente proyecto es realizar un estudio térmico de modo que se establezcan las condiciones de operación en las que se alcanza un estado estacionario estable y autosuficiente energéticamente.

Las reacciones de oxidación que tienen lugar en el proceso OASC son fuertemente exotérmicas, por lo que sí el residuo a tratar contiene una capacidad calorífica adecuada, tan sólo es necesario un aporte calorífico en la puesta en marcha del proceso, llegándose a generar posteriormente el calor necesario para hacerlo autosuficiente e incluso es posible obtener un exceso de energía, cuyo aprovechamiento puede llevarse a cabo. Generalmente, una concentración del 10-20% en peso de compuestos orgánicos es adecuada para el tratamiento mediante el proceso OASC. El objetivo para el control de un reactor OASC comercial es conseguir una flexibilidad en carga orgánica de la alimentación; mientras se mantiene un balance de calor adecuado sin sobrepasar los límites de la temperatura de diseño.

El exceso de energía térmica contenida en el efluente puede ser usado para generar vapor destinado a la producción externa de energía eléctrica, para cubrir las necesidades de procesos industriales a alta temperatura. En sistemas a mayor escala puede generarse energía mediante la expansión directa de los productos del reactor a través de una turbina de vapor supercrítico. Este sistema sería capaz de generar la energía requerida para la compresión de aire o para el bombeo de oxígeno y de la alimentación.

La variable temperatura juega un papel esencial en el funcionamiento de la planta piloto en estudio, por su efecto sobre la cinética y termodinámica

del proceso químico que se produce en la etapa de reacción. Por ello, es importante seleccionar adecuadamente la temperatura de la alimentación a la entrada del reactor. Estando esta temperatura dentro del intervalo 400°C-500°C, para el comienzo de la oxidación hidrotérmica del residuo en agua supercrítica.

No obstante una vez elegido un perfil de temperatura dentro del reactor, es posible que para esa temperatura del reactor la planta piloto pueda adoptar un régimen autotérmico desde un punto de vista energético, ya que mediante el calor liberado en el proceso de oxidación, se pretende precalentar la alimentación líquida y gaseosa mediante sendos intercambiadores de calor, para que la mezcla alcance la temperatura requerida a la entrada del reactor. Por tanto la planta piloto puede adoptar diferentes estados estacionarios con sus respectivos rendimientos y conversiones. Esto constituye la multiplicidad de estados estacionarios en el funcionamiento de la planta piloto, y es importante tenerlo en cuenta, pues en caso contrario se puede llegar a resultados distintos a los perseguidos.

Además de buscar los distintos estados estacionarios de funcionamiento de la planta piloto, donde ésta se encuentra en régimen autotérmico es necesario conocer la estabilidad de los mismos y las condiciones necesarias para que se produzca. En este sentido, salvo casos muy concretos, es necesario evitar los estados inestables en los cuáles cualquier perturbación en los valores de las variables de operación suponen el alejamiento del estado de partida para alcanzar un estado más estable.

El paso de un estado a otro de operación constituye lo que se denomina dinámica del sistema en el cuál, aunque los estados iniciales y finales estén dentro de los intervalos aceptables de operación, se puede pasar por situaciones intermedias peligrosas para la integridad de la planta o las sustancias. Por ello, es también necesario el conocimiento de esta

dinámica del sistema antes de determinar las condiciones de trabajo y la forma de llegar a ellas.

La propia naturaleza y características del proceso OASC implican elevados costes de inmovilizados. Por un lado, son necesarias instalaciones capaces de operar a altas presiones y temperaturas. Por otro lado, los problemas de corrosión obligan a emplear reactores contruidos con aleaciones de alta resistencia a la corrosión. Además, las condiciones de presión y temperatura hacen mayores los costes de bombeo y compresión. Todo esto incrementa considerablemente la inversión de capital y como consecuencia, el proceso OASC es únicamente viable, desde el punto de vista económico, para el tratamiento de residuos altamente contaminantes y difíciles de eliminar mediante las tecnologías convencionales.

El proceso OASC será más económico cuanto mayor sea la conversión alcanzada en el reactor y cuanto mayor aprovechamiento energético se obtenga de la reacción.

## **3.2 Descripción de los equipos principales de la planta piloto.**

### **3.2.1 Reactor**

Se trata de un reactor tubular que está formado por tres tramos de tubos de acero inoxidable AISI 316L con  $\frac{3}{4}$  de pulgadas de diámetro nominal (19,05 mm de diámetro externo y 12,32 mm de diámetro interno). Los tramos tienen una longitud de 2920, 2960 y 3000 mm respectivamente, están colocados en horizontal y están unidos mediante piezas Hoke para aplicaciones de alta presión. Cuenta con dos tramos verticales de longitudes 69,3 y 69,9 mm que permiten la unión entre los tres tramos horizontales, también de acero de las mismas características.

En total, el reactor cuenta con un volumen de 1230 cm<sup>3</sup>, y el sistema está diseñado para que el fluido que reacciona entre a 400°C y alcance una temperatura máxima de salida de hasta 650°C.



**Figura 7:** Fotografía tramos de reactor e intercambiador aislados

### 3.2.2 Bomba dosificadora

La bomba de alta presión para la impulsión de la alimentación de líquido está fabricada por la empresa DOSAPRO. El modelo concretamente es DOSAPRO MILTON ROY MILROYAL B MOD. MB112K12 N/VV1. Las características más relevantes de este modelo se detallan a continuación:

- Caudal regulable: 3-23 l/h
- Presión máxima: 392 bar.
- Dosificador tipo simple membrana.
- Entrada salida: NPT ¼".
- Pistón, cuerpo, caja de válvulas, asientos y bolas: Inoxidable 316.
- Cáster-bancada: Fundición.
- Motor: 1100W.
- Tensión: 220/380 v, 50 Hz.
- Potencia: 0,37 Kw.
- Protección: IP-55.

- Velocidad: 1500 r.p.m.



**Figura 8:** Fotografía de la bomba de alta presión

### 3.2.3 Compresor

El compresor está fabricado por BAUER KOMPRESSÖREN y está diseñado para el llenado de botellas de buceo. Funciona con un motor alternativo. El modelo del compresor es verticus 5, versión base, insonorizado, para aire respirable estacionario.

Modelo V 12.14-5,5.5. Las características básicas con las que cuenta el compresor son:

- Suministro de aire: 260 l/min.
- Presión máxima de trabajo 330 bar.
- Motor alternativo de 5,5 Kw. 1120 rpm.
- 4 etapas.
- Refrigeración por aire.
- Peso: 420 kg
- Dimensiones: L×W×H : 610×480×1100 mm.
- Conducción de salida: NPT ¼ ” .
- Equipamiento opcional seleccionado:

- Panel de llenado 200/300 bar.
- Sistema de control del compresor: B-Control.
- Sistema de purgas Autoctic. Tanque de 10 l.



**Figura 9:** Fotografía del compresor de aire

#### **3.2.4 Intercambiadores de calor para la corriente líquida.**

El intercambiador de calor es de tubos concéntricos con flujo en contracorriente con el fluido caliente (efluente del reactor) circulando a través del tubo interior y el frío (residuo alimentado al reactor) por el espacio interanular. Está construido a partir de tubería de acero inoxidable AISI 316L. Los tubos externos son de las mismas características que las del reactor. Los tubos internos con 3/8 de pulgada de diámetro nominal (9,53 mm de diámetro externo y 6,18 mm de diámetro interno) son del mismo material. Cuenta con cuatro tramos de intercambio con una longitud total para los tubos externos de 11476,9 mm y de 15642,2 mm para los internos. El volumen que resulta, tras tener en cuenta las uniones HOKE, es de 1260 cm<sup>3</sup> por el exterior y 374 cm<sup>3</sup> por el interior y el área de intercambio es de 0,3436 m<sup>2</sup>.

### **3.2.5 Intercambiador de calor para la corriente de aire.**

Las características de este intercambiador son análogas a las del intercambiador de calor de la corriente de alimentación líquida, sólo que en este caso está construido por dos tramos en el que los tubos externos tienen una longitud total de 5257,5 mm y los internos de 6951,4 mm. Así, tenemos un volumen exterior (para aire frío) de 544,7 cm<sup>3</sup> y un volumen interior de 171,6 cm<sup>3</sup>, por donde circula el fluido caliente que procede del anterior intercambiador. El área de intercambio de este intercambiador es de 0,1574 m<sup>2</sup>.

### **3.2.6 Sistema de precalentamiento eléctrico de la alimentación.**

Los precalentadores eléctricos instalados en la planta son de dos tipos:

- El primer tipo, del que se tiene una unidad, es un cable calefactor con vaina de Inconel de 1mm de espesor, arrollado sobre un tubo de ¼ ". Tiene una potencia de 1250 W y se conecta a 110V, para lo que usamos un transformador conectado a red de 220 V.
- El segundo tipo, del que se han instalado dos unidades, es un cable calefactor de 3 mm, arrollado sobre tubo de ¾ ". La potencia que proporciona es de 3000 W cada uno. Se conecta a la red de 220 V.

La potencia total de calefacción con los tres cables calefactores resulta por tanto de 7250 W.

### 3.2.7 Enfriador multietapa

Este enfriador es un intercambiador multietapa comercial, fabricado por Sentry Equipment Corp, modelo TLF- 4225 que posee unas dimensiones externas muy compactas. Se trata de un cilindro de 234 mm de diámetro y con una longitud de 87 mm. Está alimentado con agua de red que tras el intercambio se vierte al desagüe general del edificio. La superficie de transferencia de este cambiador compacto según los datos suministrados por el fabricante es de 0,22 m<sup>2</sup>.



**Figura 10:** Fotografía del enfriador multietapa

### 3.2.8 Separador gas-líquido

El separador gas-líquido es de fabricación propia, realizada en la Universidad de Cádiz. Consta de una carcasa de termo eléctrico para agua caliente sanitaria, con dos orificios que son utilizados para la entrada de la corriente mezcla de producto después de su despresurización y para la salida de la fase líquida una vez separada. Adicionalmente, se ha soldado una salida para la corriente gaseosa.

El volumen del separador es de 50 l y cuenta con una válvula de seguridad, una toma de muestras de líquido y otra de gas.



**Figura 11:** Fotografía del separador gas-líquido

### **3.2.9 Tanques de alimentación**

Para la alimentación líquida de la planta se cuenta con dos tanques, uno para el residuo acuoso a tratar que es de polipropileno y otro para el agua de fibra de vidrio. Cada uno de los tanques tiene un volumen de 100 l.

El tanque de residuo está agitado, para lo que se utiliza un motor eléctrico que acciona la hélice inserta en el seno del líquido. Este motor es de las siguientes características:

- Motor: 180 W.
- Tensión: 220/380 V, 50 Hz.
- Protección: IP-55.
- Velocidad: 1000 rpm.

Las características del conjunto eje y hélice son:

- Material de construcción de eje y hélice: AISI 316.
- Longitud eje: 900 mm.

- Diámetro hélice: 128 mm.

La salida de ambos tanques cuentan con electroválvulas que gobiernan la alimentación de la bomba, con agua o con residuo, en función de la fase de funcionamiento de la planta. Las salidas de las electroválvulas se dirigen hacia una conexión tipo T que unifica la entrada a la bomba.

Para vaciar al desagüe el contenido de los tanques se dispone de una válvula de tres vías que dirige el caudal, una vez unificado, bien hacia el desagüe, bien hacia la planta, o bien hacia un contenedor de residuos.



**Figura12:** Fotografía de los tanques de alimentación

### **3.2.10 Botellas de almacenamiento de aire a presión.**

El sistema de botellas que se ha usado ha sido suministrado por Marinevision. Se trata de un rack de dos botellas de 50 l cada una, de la casa Bauer Kompressoren, con referencia (B100S). El grupo completo tiene unas dimensiones de 1991×600×325 mm. Cuenta con válvula de seguridad y sistema de purga en la parte inferior de las botellas. Pueden almacenar aire hasta una presión de 360 bar.



**Figura 13:** Fotografía de las botellas de almacenamiento de aire a presión

### 3.2.11 Aislamiento térmico

El material aislante empleado es una manta cerámica de la casa comercial Unifrax. Concretamente se trata de Fiberfrax Durablanket S con una composición de 43-47%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 53-57%  $\text{SiO}_2$ . La conductividad de este material es de 0,14  $\text{W/m}\cdot\text{K}$  a  $800^\circ\text{C}$  y 0,28  $\text{W/m}\cdot\text{K}$  a  $1000^\circ\text{C}$ . En la tabla 4 se muestran los espesores de aislamiento empleados en cada uno de los equipos.

Unidad	Espesor (mm)
Reactor	45,73
Intercambiador Líquidos	39,30(dos primeros) 32,99 (dos últimos)
Intercambiador Gas	32,78
Pre calentador eléctrico alimentación	45,73

**Tabla 4:** Espesores de aislamiento empleados en cada uno de los equipos.

### **3.3 Sistemas de medición, control y adquisición de datos.**

El funcionamiento de la planta piloto está controlado a través de un autómata que recibe las señales de los diferentes dispositivos instalados en la misma. A continuación se describen los dispositivos de medición y control empleados así como el sistema de control y adquisición de datos que gobierna el funcionamiento de dicha planta.

#### **3.3.1 Dispositivos de medición**

##### **3.3.1.1 Caudal de corriente líquida**

Al ser el caudal de líquido muy pequeño y presentar oscilaciones debido a que la bomba es de tipo pistón, no existen caudalímetros comerciales adecuados para su medida. Por ello se ha diseñado un dispositivo consistente en un depósito de vidrio cilíndrico de volumen conocido, de tal manera que al medir el tiempo de llenado del mismo, nos permite evaluar el caudal.

El depósito de medida de caudal se ha construido en el laboratorio de soplado de vidrio de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz. Consta de dos secciones diferenciadas: la zona de alimentación y la zona de medida. La zona de alimentación está situada en la parte superior del depósito y consta de un cilindro de 50 mm de diámetro y 60 mm de longitud vertical, por el que trascurren los electrodos de medida y la alimentación.

La zona de medida consiste en un cilindro de 44 mm de diámetro externo y 41 mm de diámetro interno y con una longitud de 600 mm. Este depósito, se llena en un intervalo de tiempo de 30 segundos a 4 minutos según se trabaje a caudal máximo o a caudal mínimo. La medida se hará aproximadamente cada minuto.

El proceso de medida comienza con el cierre de una electroválvula conectada a la salida del medidor de caudal, de modo que éste empieza a llenarse. Cuando el agua llega al electrodo de nivel mínimo se acciona un contador en el PLC, que para al llegar el agua al electrodo de nivel máximo. Una vez alcanzado, se abre la válvula de salida para el vaciado y haciendo uso del valor de tiempo que está almacenado en el PLC se realiza el cálculo del caudal. Una vez vaciado el depósito comienza el proceso de medida.

### 3.3.1.2 Caudal de corriente gaseosa

Se emplea un caudalímetro másico de gases, que fue suministrado por IBERFLUID. El modelo del equipo es F133M, de Bronkhorst. Está calibrado entre 0 y 400g/min y proporciona una señal escalada a 4-20 mA. Dispone también de un display que permite visualizar la medida que se está realizando. Para la alimentación cuenta con una fuente de corriente continua, conectada a la red de 220 V.



**Figura 14:** Fotografía del caudalímetro de gases

### **3.3.1.3 Medición de temperaturas**

Se cuenta con 20 puntos de medida de temperatura a lo largo de la planta. Las medidas se llevan a cabo mediante el uso de termopares tipo k. De entre ellos, quince son de varilla de Inconel de 30 mm y los otros cinco tienen una punta de acero inoxidable AISI 316 y una abrazadera del mismo material, conectadas a un cable de 1 m. Todas las medidas de temperaturas quedan registradas por el autómata. La situación de los puntos de medida puede observarse en la **figura 15**.

### **3.3.1.4 Medición de presión**

En la planta se usan dos tipos de sensores de presión. Hay tres electrónicos y un manómetro de aguja (sólo indicador, no se recoge su lectura). Los sensores electrónicos o transductores de presión son A08 de STW, que proporcionan una lectura de presión escalada a una señal de 4-20 mA, correspondiendo el valor de 0 bar a la señal de 4 mA y de 300 bar a la señal de 20 mA. La situación de los puntos de medida puede observarse en la **figura 15**.

**Figura 15.** Diagrama de instrumentación y control de la planta piloto.

### **3.4 Dispositivos y estrategias de control y regulación**

#### **3.4.1 Regulación de la presión del sistema**

La presión en el sistema se mantiene y controla mediante el empleo de una electroválvula reguladora de presión, de la casa comercial Jordan Controls, Inc. El modelo es el MV-1110, complementado con el amplificador AD-8100 y el traductor de señal de salida a 4-20 mA ST-4130. El motor de accionamiento de la válvula se alimenta a 110 V, monofásico.

Dicha electroválvula se gobierna desde el PLC haciendo uso de una señal analógica de 4-20 mA como punto de referencia para el motor de la válvula, que aumenta o disminuye el paso mediante la inserción de un punzón en la corriente del líquido, que modifica el área de paso del fluido a través del equipo de control.

Concretamente, para el control y regulación de la presión del sistema en el valor deseado se toma la medida del transductor de presión que está colocado a la entrada de la electroválvula reguladora de presión. Esta señal la recoge el PLC y calcula la acción de control de tipo PID programado al efecto. Esta señal de control se envía a la electroválvula final, cerrando así el lazo de control de la presión del sistema.



**Figura 17:** Fotografía de electroválvula reguladora de presión

### **3.4.2 Regulación del caudal de alimentación líquida**

El control del caudal de alimentación líquida, ya sea agua de red o el propio residuo a oxidar, se efectúa de forma manual. En función de la experiencia a realizar, y dado que la bomba de alta presión es de tipo “caudal regulable”, a partir del calibrado previo de la bomba se impone de forma manual la posición para el vástago de la bomba que permite obtener el caudal deseado. El caudal real de trabajo en el sistema se mide mediante el caudalímetro de líquidos por lo que, en función de la diferencia existente entre el caudal real y el deseado, se procede a la corrección de forma manual a la posición del vástago de la bomba.

### **3.4.3 Regulación del caudal de aire**

Para el control del caudal de aire, el sistema dispone de una electroválvula a la salida de las botellas de almacenamiento de aire a alta presión. Se dispone de una válvula EVA-1 de Badger Meter, Inc. La alimentación la recibe a 24 Vcc y la señal de consigna es de 4-20 mA, que se le proporciona desde el PLC.

La estrategia de control y regulación del caudal de aire en el valor deseado en el sistema consiste en lo siguiente: el caudalímetro másico envía la señal medida al PLC y la referencia para el control se toma de la medición del caudal líquido, sobre el que el controlador hace el cálculo estequiométrico y aplica el exceso de oxidante especificado, dando como resultado la señal de control que se envía a la electroválvula que cierra el lazo de control del caudal de aire.

#### **3.4.4 Regulación del caudal de refrigeración en el enfriador**

Para el control del caudal de agua de refrigeración en el enfriador multietapa se emplea una electroválvula fabricada por SUFI. La estrategia de control será mantener el caudal de refrigeración necesario para que la temperatura de salida del efluente sea inferior a 40°C. Por tanto, mediante un termopar se mide dicha temperatura de salida del efluente después del enfriador, señal que recibe el autómatas llevando a cabo el control y envía la señal pertinente al actuador de la electroválvula.

Dicha electroválvula cuenta con un motor de corriente continua que se conecta a 24 Vcc. El dispositivo de control cuenta con una entrada de consigna a 4-20 mA y una salida de las mismas características para determinar la posición. Para mayor seguridad dispone de un interruptor final de carrera que indica si está totalmente cerrada.

#### **3.4.5 Control de apertura / cierre de la corriente de salida de tanques de alimentación**

En sendos tanques de alimentación se gobierna la salida mediante electroválvulas solenoides todo / nada, Lucifer 121K03F. La bobina se acciona mediante una señal de 24 Vcc. El caudal máximo con el que podría trabajar es de 27 l/min.

El tanque de agua tiene una electroválvula de llenado conectada al agua de red, que llena el depósito cuando el sensor de nivel del tanque detecta falta de agua. Está fabricada por Parker-Hannifin. El modelo que se ha usado es el VE 133 con una bobina ZB12, alimentada a 24 Vcc.

Por último, se cuenta con una electroválvula de las mismas características que las utilizadas en las salidas de los tanques de alimentación a la salida del recipiente de medición de caudal.

### **3.5 Sistemas de adquisición de datos**

El control de la planta piloto se lleva a cabo mediante un autómata SCHNEIDER TSX57203 que recibe la energía de una fuente de alimentación conectada a 220 V. Para el trabajo con las señales que recibe el autómata, se cuenta con un sistema SCADA (System Control And Data Acquisition), desarrollado por SCHNEIDER con el software Vijeo Look V2.5. Mediante este software se desarrollan bases de datos y tratamiento de información (curvas de tendencia, estadísticas...), así como se determinan las referencias para los distintos lazos de control, acceso directo a variables y otras aplicaciones.

### **3.6 Sistemas de seguridad**

Dado lo extremo de las condiciones de operación en lo que se refiere a presión y temperatura, se ha puesto un esfuerzo adicional en dotar la planta de las mayores medidas de seguridad. Éstas se describen a continuación.

### **3.6.1 Elementos de seguridad**

#### **3.6.1.1 Panel de control**

La planta esta situada en el interior de un espacio rodeado de cuatro paneles de cristal de seguridad. Uno de los paneles de cristal hace de puerta corredera, por donde se accede a la planta.

#### **3.6.1.2 Discos de ruptura**

La instalación está protegida de sobrepresión por tres discos de ruptura, en los puntos donde es más probable un aumento de presión. Los discos son de la casa AUTOCLAVE 3/16 F Standard, tarados a 340 bar. La situación de éstos se puede observar en la **figura 15**.

#### **3.6.1.3 Protecciones eléctricas**

El cuadro eléctrico proporciona protección ante sobretensiones, sobreintensidades y contactos indirectos. Para esto, el circuito está dividido en varias ramas, estando cada una de ellas protegida por un interruptor diferencial y otro magnetotérmico, diseñados según la carga que vaya a soportar cada rama de la instalación.

#### **3.6.1.4 Protecciones de software**

Se han programado paradas de emergencia en diversas situaciones. Las situaciones que se han tenido en cuenta para la activación de las alarmas son las siguientes:

- 1- Aumento de la temperatura en cualquier punto de la instalación por encima de los 650°C.

- 2- Aumento de la presión en cualquier punto de la instalación por encima de los 280 bar.
- 3- Disminución rápida de la presión (por rotura de un disco de ruptura).
- 4- Temperatura tras el último enfriador superior a los 50°C.
- 5- Vaciado de los tanques de alimentación.

En todos los casos se procederá al paro total de la planta, que tiene un protocolo definido y que lleva a cabo el software programado en el autómatas. El proceso consiste fundamentalmente en el apagado de los motores y las resistencias de precalentamiento, la apertura de las electroválvulas, esperar al enfriamiento y despresurización del sistema y posteriormente la limpieza de la planta, haciendo pasar agua impulsada desde la bomba.

También se cuenta con unas señales visuales y sonoras previas a la parada total de la planta, permitiendo la acción de emergencia para paliar las deficiencias del sistema, si esto es posible. Estas señales se activan cuando las temperaturas sobrepasan los 650°C o la presiones son mayores de 270 bar, así como si la temperatura final es mayor de 45°C.



# **MEMORIA TÉCNICA**

## 4. MEMORIA TÉCNICA

### INDICE:

<b>4.1. BALANCES DE MATERIA</b>	<b>48</b>
4.1.1 Balance de materia al reactor	48
4.1.1.1 Cinética de la reacción	48
4.1.1.2 Balance de materia al reactor	50
4.1.2 Balance de materia a los intercambiadores	54
4.1.3 Punto de mezcla	56
<b>4.2. BALANCES DE ENERGÍA</b>	<b>57</b>
4.2.1 Balance de energía al reactor	57
4.2.2 Balances de energía a los intercambiadores de calor	59
4.2.2.1 Balance de energía al intercambiador 1	59
4.2.2.2 Balance de energía al intercambiador 2	61
4.2.2.3 Coeficiente global de transmisión de calor “U”	63
4.2.3 Balance de energía al punto de mezcla	66
<b>4.3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</b>	<b>67</b>
4.3.1 Cálculo de la temperatura de salida del reactor $T_{SR}$	69
4.3.2 Cálculo de las temperaturas de salida del intercambiador 1, $T_{SI1}$ y $T_{Emul2}$	74
4.3.3 Cálculo de las temperaturas de salida del intercambiador 2, $T_{SI2}$ y $T_{Aire2}$	84
4.3.4 Temperatura de salida del punto de mezcla $T_{ER}$	90
<b>4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO I: Gráficas</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO II: Lista de nomenclatura</b>	<b>121</b>

## **4. MEMORIA TÉCNICA**

Las herramientas básicas para acometer el estudio térmico de la planta piloto objeto de estudio en el presente proyecto, son los balances de materia y balances de energía de las distintas etapas que se ven implicadas en el proceso OASC y que influyen en el logro de que éste pueda considerarse un proceso autosuficiente, es decir, un proceso que no necesite de aporte de energía externa, tan solo en su puesta en marcha.

Por lo tanto, se realizan dichos balances al reactor, intercambiadores de calor de las corrientes de residuo y aire y al punto de mezcla situado a la entrada del reactor, en el cual se mezclan las corrientes de residuo y aire a su salida de sendos intercambiadores, para posteriormente alimentar al reactor.

### **4.1. BALANCES DE MATERIA**

#### **4.1.1 Balance de materia al reactor**

##### **4.1.1.1 Cinética de la reacción**

En primer lugar se tendrá que tener en cuenta la cinética del proceso de oxidación que tiene lugar dentro del reactor tubular. Existen dos métodos para el análisis de los datos cinéticos correspondientes a las pruebas de oxidación: el método integral y el método diferencial. El método integral es el que se ha utilizado en las referencias bibliográficas para determinar la ecuación cinética por su simplicidad de aplicación y por estar recomendado cuando se ensayan expresiones cinéticas relativamente sencillas o cuando no es posible disponer de un gran número de datos. El método diferencial, requiere mayor exactitud y mayor cantidad de datos.

### Aplicación del método integral.

Básicamente, el método consiste en seleccionar una forma de ecuación cinética que parezca apropiada para la reacción en cuestión e integrarla. Una vez integrada, se obtiene una función de la concentración con el tiempo que puede ajustarse a los datos experimentales, comprobando la adecuación de la ecuación propuesta en función de la bondad del ajuste. En el caso de que el ajuste no sea satisfactorio se descarta dicha ecuación y se ensayan otras posibles ecuaciones cinéticas (Levenspiel, 1987).

Se toma como referencia bibliográfica la Tesis Doctoral “Estudio y modelización de un proceso para la eliminación de los residuos industriales de mecanizado mediante oxidación en agua sub- y supercrítica” realizada por Sánchez Oneto en 2005. En dicha referencia se selecciona una ecuación cinética correspondiente a reacciones bimoleculares irreversibles de segundo orden.



En las condiciones de exceso de oxidante la reacción de segundo orden puede aproximarse a una reacción de pseudo-primero orden:

$$-\text{Ln} \frac{C_{A_0}}{C_A} = k' \cdot t \quad (1)$$

De este modo, representando  $-\text{Ln}\left(\frac{C_A}{C_{A_0}}\right)$  frente a  $t$ , se obtiene una recta que pasa por el origen y cuya pendiente es el coeficiente cinético  $k'$ , que puede ser así fácilmente calculado.

La ecuación de Arrhenius constituye una aproximación suficientemente válida para describir la dependencia del coeficiente cinético,  $k$ , con la temperatura.

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (2)$$

donde:

$k$ : Coeficiente cinético ( $s^{-1}$ )

$A$ : Factor de frecuencia ( $s^{-1}$ )

$E_a$ : Energía de activación (J/mol)

$R$ : Constante para los gases ideales (J/mol·K)

$T$ : Temperatura (K)

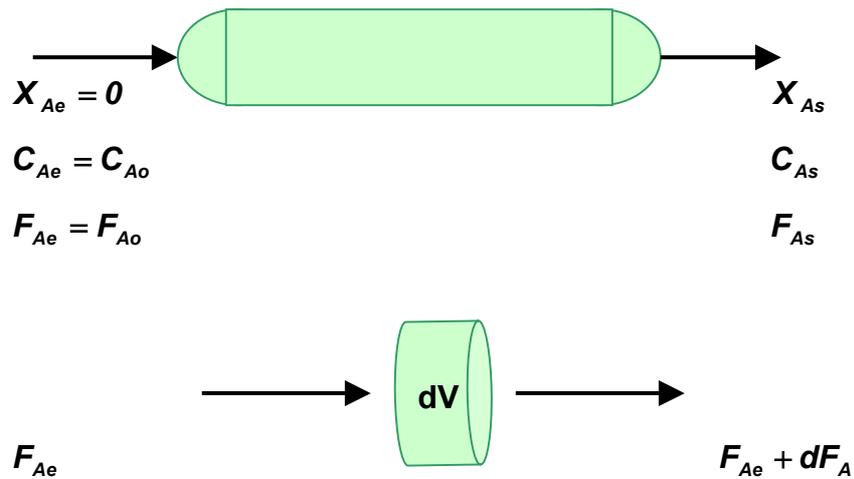
#### 4.1.1.2 Balance de materia

El reactor de la planta piloto está construido a partir de tubería de  $\frac{3}{4}$ " con un diámetro interno de 12,32 mm, y una longitud de 9019 mm, El volumen final del reactor es de 1230 cm<sup>3</sup>. La relación  $L/D = 732$  por tanto se considera que el modelo de flujo en el reactor tubular puede aproximarse a flujo pistón.

Por tanto, se formulará el balance de materia correspondiente a un reactor de flujo pistón.

El balance de materia de este tipo de reactor ha de realizarse teniendo en cuenta que la composición del fluido varía a lo largo del reactor y por lo tanto, se realiza sobre un volumen diferencial de reacción.

Teniendo como referencia el reactivo A, el balance de materia en estado estacionario se expresa como:



**Figura 8.** Esquema simplificado del sistema en estudio.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de A} \\ \text{que entra en el} \\ \text{diferencial de} \\ \text{volumen por} \\ \text{unidad de tiempo} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de A} \\ \text{que sale del} \\ \text{diferencial de} \\ \text{volumen por} \\ \text{unidad de tiempo} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de A} \\ \text{que reacciona en} \\ \text{el diferencial de} \\ \text{volumen por} \\ \text{unidad de tiempo} \end{array} \right)$$

$$(E) = (S) - (C) \quad (3)$$

$$F_{Ao} = (F_{Ae} + dF_A) + (-r_A)dV \quad (4)$$

donde:

$$F_{Ao} = \text{caudal de A inicial. } \left( \frac{gO_2 DQO}{l} \right)$$

$$F_{Ae} = \text{caudal de reactivo A a la entrada. } \left( \frac{gO_2 DQO}{l} \right)$$

Como:

$$F_A = F_{A0}(1 - X_A) \quad (5)$$

$$dF_A = -F_{A0} dX_A \quad (6)$$

donde:

$X_A$  = Conversión

Sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (4):

$$F_{A0} \cdot dX_A = (-r_A) dV \quad (7)$$

$$\frac{dV}{F_{A0}} = \frac{dX_A}{(-r_A)} \quad \text{Ecuación de Diseño} \quad (8)$$

Para la taladrina objeto de estudio (BIOCUT) se conoce su relación DQO/Concentración tomada de la bibliografía (Sánchez Oneto, 2005):

$$C_{A0} = \left( \frac{F_{A0}}{2,26} \right) \quad (9)$$

Integrando la ecuación (8)

$$\frac{V}{Q_0} = C_{A0} \int \frac{dX_A}{-r_A} \quad (10)$$

siendo:

$Q_0$  = caudal volumetrico inicial

$C_{A0}$  = concentración inicial del reactivo A

Suponiendo cinética de orden 1

$$\frac{V}{Q_o} = \int_{X_{Ae}}^{X_{As}} \frac{dX_A}{k(1-X_A)} \quad (11)$$

Para un sistema en continuo, la entrada continua de alimentación hace que el tiempo de permanencia del reactivo en el sistema no coincida con el tiempo de operación. Por término medio es fácil comprender que las moléculas de reactivo permanecerán en el reactor un tiempo que vendrá dado por la relación existente entre el volumen del sistema y el caudal volumetrico aplicado. Esta consideración es obvia si se admite la hipótesis de estado estacionario, ya que no se puede producir acumulación en el sistema. Por ello se define el tiempo espacial ( $\tau$ ) como el tiempo necesario para tratar un volumen de alimentación igual al volumen del reactor.

$$\tau = \frac{V}{Q_o} \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación (12) en la ecuación (11):

$$\tau = \int_{X_{Ae}}^{X_{As}} \frac{dX_A}{k(1-X_A)} \quad (13)$$

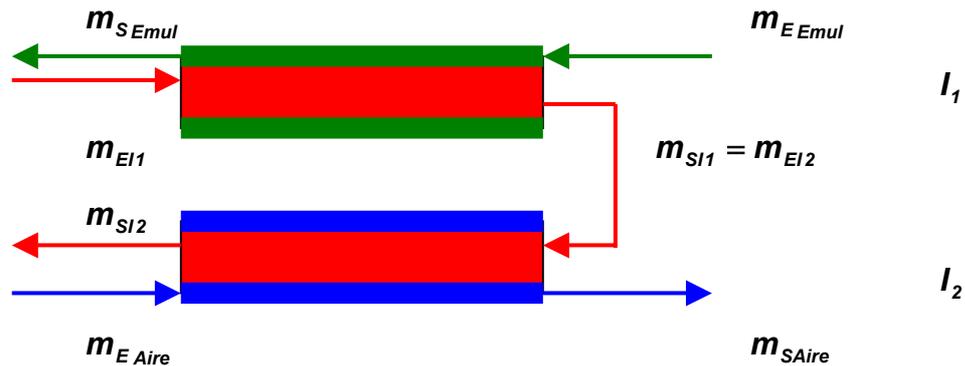
Resolución de la ecuación para  $X_{Ae} = 0$

$$\tau \cdot k = \text{Ln} \frac{1}{(1-X_{As})} \quad (14)$$

$$X_{As} = \left( 1 - \frac{1}{e^{\tau \cdot k}} \right) = 1 - e^{-\tau \cdot k} \quad (15)$$

#### 4.1.2 Balance de materia a los intercambiadores

Los 4 tramos de intercambio de la corriente de residuo se consideran como un único intercambiador ( $I_1$ ); al igual que los 2 tramos de intercambio de la corriente de aire ( $I_2$ ).



**Figura 9.** Esquema intercambiadores de calor

Donde:

$m_{EEmul}$  = Flujo másico de entrada de emulsión al intercambiador  $I_1$ .  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{SEmul}$  = Flujo másico de salida de emulsión del intercambiador  $I_1$ .  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{EAire}$  = Flujo másico de entrada de aire al intercambiador  $I_2$ .  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{SAire}$  = Flujo másico de salida de aire del intercambiador  $I_2$ .  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{EI1}$  = Flujo másico de entrada del efluente se salida del reactor (corriente caliente) al intercambiador  $I_1$ .  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{SI1}$  = Flujo másico de salida de la corriente caliente del intercambiador  $I_1$ .  
 $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{E12}$  = Flujo másico de entrada de la corriente caliente al intercambiador  $I_2$ .

$$\left( \frac{kg}{s} \right)$$

$m_{S12}$  = Flujo másico de salida de la corriente caliente del intercambiador  $I_2$ .

$$\left( \frac{kg}{s} \right)$$

Puesto que dentro de los intercambiadores no se da reacción química, en estado estacionario el balance de materia se simplifica a:

$$(E) = (S) \tag{16}$$

Además, para el sistema de la **figura 9**, debe cumplirse:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{entrada de} \\ \text{emulsión en } I_1 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{salida de} \\ \text{emulsión en } I_1 \end{array} \right)$$

$$m_{EEmul} = m_{SEmul} \tag{17}$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{corriente} \\ \text{caliente de} \\ \text{entrada en } I_1 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{corriente} \\ \text{caliente de} \\ \text{salida en } I_1 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{corriente} \\ \text{caliente de} \\ \text{salida en } I_2 \end{array} \right)$$

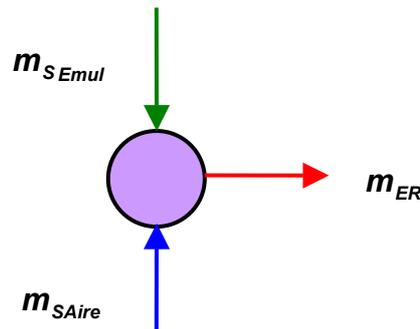
$$m_{EI1} = m_{SI1} = m_{EI2} = m_{SI2} \tag{18}$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico} \\ \text{de aire de} \\ \text{entrada en } I_2 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico} \\ \text{de aire de} \\ \text{salida en } I_2 \end{array} \right)$$

$$m_{EAire} = m_{SAire} \tag{19}$$

### 4.1.3 Punto de mezcla

El punto de mezcla se encuentra situado a la entrada al reactor tubular, en él se mezclán las corrientes de emulsión de taladrina y de aire procedentes de los intercambiadores de calor donde se ha aumentado su temperatura para que tras mezclarse se obtenga, la corriente de alimentación al reactor con la temperatura adecuada para que de comienzo la reacción de oxidación en condiciones supercríticas.



**Figura 10.** Esquema del punto de mezcla

donde:

$m_{ER}$  = Flujo másico de entrada de alimentación al reactor.

Al no existir reacción en este punto de mezcla, sino tan solo un contacto directo de las dos corrientes, el balance de materia quedará expresado como:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{emulsión de} \\ \text{entrada en el} \\ \text{punto de mezcla} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{aire de entrada} \\ \text{en el punto de} \\ \text{mezcla} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Flujo másico de} \\ \text{alimentación de} \\ \text{entrada al reactor} \end{array} \right)$$

$$(E) = (S) \quad (20)$$

$$m_{SEmul} + m_{SAire} = m_{ER} \quad (21)$$

## 4.2. BALANCES DE ENERGÍA

### 4.2.1 Balance de energía al reactor

En el caso de un reactor de flujo pistón puede existir una variación de la temperatura de un punto a otro en la dirección del flujo. La formación de gradientes de temperatura en la misma dirección del flujo no está en contra de la hipótesis de flujo en pistón si se admite que tanto la temperatura como la composición se mantienen constantes en la dirección radial. La composición y la temperatura variarán con la longitud del mismo. Por lo tanto, al igual que en el caso del balance de materia, el balance de energía para un reactor de flujo pistón ha de plantearse sobre un elemento diferencial de volumen.

Además el reactor está totalmente aislado y el calor intercambiado por el reactor con el exterior se ha minimizado lo máximo posible. Se considera por tanto el reactor tubular como un reactor flujo pistón adiabático.

Considerando estado estacionario, los términos del balance de energía serán:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{calor que entra} \\ \text{en el diferencial} \\ \text{de volumen por} \\ \text{unidad de} \\ \text{tiempo} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{calor que sale} \\ \text{del diferencial} \\ \text{de volumen por} \\ \text{unidad de} \\ \text{tiempo} \end{array} \right) \pm \left( \begin{array}{l} \text{Cantidad de calor que} \\ \text{se genera o consume} \\ \text{en la reacción en el} \\ \text{diferencial de volumen} \\ \text{por unidad de tiempo} \end{array} \right)$$

$$(E) = (S) \pm (GóC) \quad (22)$$

$$\sum (F_i C p_i)_e (T - T_R) = \sum (F_i C p_i)_s (T + dT - T_R) + \Delta H_r \cdot (-r_A) \cdot dV \quad (23)$$

donde:

$T_R$  = Temperatura de referencia (K)

$\Delta Hr$  = Entalpia de reacción  $\left( \frac{kJ}{gO_2 DQO} \right)$

$F_i$  = Flujo másico de la alimentación, emulsión + aire,  $\left( \frac{kg}{s} \right)$

$Cp_i$  = Calor específico de la alimentación  $\left( \frac{kJ}{kgK} \right)$

Al considerarse un reactor de flujo en pistón adiabático, no intercambia calor con el exterior y no se incluye ningún término de transmisión en el balance de energía.

Se toma como capacidades caloríficas el valor medio de cada intervalo. Considerando que capacidades caloríficas, y el calor de reacción no varían con la temperatura, se llega a la siguiente expresión:

$$0 = \sum (F_i Cp_i)_s dT + \Delta Hr \cdot (-r_A) \cdot dV \quad (24)$$

Es necesaria la resolución numérica simultánea de esta ecuación junto con la ecuación de diseño del reactor de flujo pistón, (8). La última fue obtenida a través de la resolución del balance de materia.

Sustituyendo la ecuación de diseño (8) en la expresión (24) del balance de energía:

$$0 = \sum (F_i Cp_i)_s dT + \Delta Hr \cdot F_{A_0} \cdot dX_A \quad (25)$$

donde:

$F_{A_0}$  = Caudal de taladrina dado en  $\left(\frac{gO_2 DQO}{s}\right)$

Integrando:

$$0 = \sum (F_i C_{p_i})_s \int_{T_e}^{T_s} dT + \Delta Hr \cdot F_{A_0} \int_{X_{Ae}}^{X_{As}} dX_A \quad (26)$$

$$0 = \sum (F_i C_{p_i})_s (T_s - T_e) + \Delta Hr \cdot F_{A_0} \cdot (X_{As} - X_{Ae}) \quad (27)$$

Para  $X_{Ae} = 0$

$$T_{SR} = T_{ER} - \frac{\Delta Hr \cdot F_{A_0} \cdot X_{As}}{\sum (F_i C_{p_i})_s} \quad (28)$$

$T_{SR}$  es la temperatura a la cual sale el efluente del reactor. El efluente entra posteriormente en el intercambiador calor, para calentar la alimentación líquida.

$$T_{SR} = T_{E11} \quad (29)$$

## 4.2.2 Balances de energía a los intercambiadores de calor

### 4.2.2.1 Balance de energía al intercambiador 1

Este intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente se utiliza para precalentar la corriente de residuo (emulsión de taladrina+agua). Por el tubo interior circula el efluente de salida del reactor, el cual sale de éste a altas temperaturas, y por el espacio anular entre los dos tubos circula la corriente de residuo, el cual proviene de un depósito a temperatura ambiente. La corriente de residuo es calentada hasta temperaturas algo

superiores a la necesaria a la entrada del reactor, ya que dicha corriente cederá calor a la corriente de aire, en el punto de mezcla, dando como resultado una corriente de alimentación al reactor a la temperatura adecuada.



**Figura 11.** Esquema del intercambiador de calor para la corriente de residuo.

donde:

$T_{EEmul}$  = Temperatura de entrada de emulsión al intercambiador 1. (K)

$T_{SEmul}$  = Temperatura de salida de emulsión del intercambiador 1. (K)

$T_{EI1}$  = Temperatura de entrada del efluente de salida del reactor al intercambiador 1. (K)

$T_{SI1}$  = Temperatura de salida del efluente de salida del reactor del intercambiador 1. (K)

Puesto que la energía se conserva, en el interior del intercambiador debe cumplirse que:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{absorbido por} \\ \text{la corriente} \\ \text{de residuo.} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Calor cedido} \\ \text{por la corriente} \\ \text{de salida del} \\ \text{reactor.} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Calor que se} \\ \text{transmite de la} \\ \text{corriente de salida} \\ \text{del reactor a la} \\ \text{corriente de residuo} \end{array} \right)$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{transmitido}} \quad (30)$$

$$m_{Emul} \cdot Cp_{Emul} \cdot (T_{SEmul} - T_{EEmul}) = m_{I1} \cdot Cp_{I1} \cdot (T_{EI1} - T_{SI1}) = U_{I1} \cdot A_{I1} \cdot \Delta T_{ml1} \quad (31)$$

donde:

$U_{I1}$  = Coeficiente global de transmisión de calor para el intercambiador 1.  $(W/m^2 \cdot K)$

$A_{I1}$  = Area de intercambio del intercambiador 1.  $(m^2)$

$\Delta T_{ml1}$  = Incremento de temperatura medio logarítmico para el intercambiador 1.

Las propiedades físicas ( $\kappa, \rho, \mu$  y  $Cp$ ) de los fluidos que intercambian su calor en los intercambiadores varían en función de la temperatura. Para el balance de energía suponemos un valor promedio de las propiedades físicas entre las temperaturas de entrada y salida.

Se define el incremento de temperatura medio logarítmico como:

$$\Delta T_{ml1} = \frac{(T_{EI1} - T_{SEmul})(T_{SI1} - T_{EEmul})}{Ln \frac{(T_{EI1} - T_{SEmul})}{(T_{SI1} - T_{EEmul})}} \quad (32)$$

#### 4.2.2.2 Balance de energía al intercambiador 2

En el intercambiador 2 se precalienta la corriente de aire, procedente de las botellas de almacenamiento. El aire se encuentra inicialmente a una temperatura aproximada de 50 °C y circula por el espacio anular entre los dos tubos concéntricos, mientras que la corriente que circula por el interior del intercambiador es la corriente de salida del reactor tras haber pasado por el intercambiador 1.



**Figura 12.** Esquema del intercambiador de calor para la corriente de aire.

donde:

$T_{EAire}$  = Temperatura de entrada del aire al intercambiador 2.

$T_{SAire}$  = Temperatura de salida del aire del intercambiador 2.

$T_{EI2} = T_{SI1}$  = Temperatura de entrada del efluente de salida del reactor al intercambiador 2.

$T_{SI2}$  = Temperatura de salida del efluente de salida del reactor del intercambiador 2.

De nuevo, debe cumplirse que:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Calor absorbido} \\ \text{por la corriente} \\ \text{de aire.} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Calor cedido} \\ \text{por la corriente} \\ \text{de salida del} \\ \text{reactor.} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Calor que se} \\ \text{transmite de la} \\ \text{corriente de salida del} \\ \text{reactor a la corriente} \\ \text{de aire} \end{array} \right)$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{transmitido}} \quad (33)$$

$$m_{\text{Aire}} \cdot Cp_{\text{Aire}} \cdot (T_{\text{SAire}} - T_{\text{EAire}}) = m_{I2} \cdot Cp_{I2} \cdot (T_{\text{EI2}} - T_{\text{SI2}}) = U_{I2} \cdot A_{I2} \cdot \Delta T_{mI2} \quad (34)$$

donde:

$U_{I2}$  = Coeficiente global de transmisión de calor para el intercambiador 2.  $(W/m^2 \cdot K)$

$A_{I2}$  = Area de intercambio del intercambiador 2.  $(m^2)$

$\Delta T_{ml2}$  = Incremento de temperatura medio logarítmico del intercambiador 2.

Definiendo el incremento de temperatura medio logarítmico como:

$$\Delta T_{ml2} = \frac{(T_{SI2} - T_{EAire})(T_{EI2} - T_{SAire})}{Ln \frac{(T_{SI2} - T_{EAire})}{(T_{EI2} - T_{SAire})}} \quad (35)$$

#### 4.2.2.3 Coeficiente global de transmisión de calor “U”.

Para la resolución de los balances de energía de los intercambiadores de calor es necesario el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor.

Se calcula referido a la superficie externa de la conducción interna.

$$U = \frac{1}{\frac{r_i}{r_e h_i} + \frac{r_i}{k} Ln \frac{r_i}{r_e} + \frac{1}{h_e}} \quad (36)$$

donde:

$h_i$ : coeficiente individual de transmisión de calor de la corriente que circula por el tubo interior del intercambiador.  $(W/m^2 \cdot K)$ .

$h_e$ : coeficiente individual de transmisión de calor de la corriente que circula por el tubo exterior del intercambiador.  $(W/m^2 \cdot K)$ .

$k$ : conductividad térmica de los tubos.  $(W/m \cdot K)$ .

$r_i$ : radio interno de la conducción interna.  $(m)$

$r_e$ : radio externo de la conducción interna  $(m)$

La conductividad térmica del material de la conducción interna se ha interpolado a partir de unos datos encontrados en la bibliografía entre las temperaturas máxima y mínima que pueden darse en el intercambiador. Posteriormente se promedian los dos valores resultantes.

Acero AISI 316	
T (K)	K (W/m·K)
300	13
400	15
500	17
600	18
800	21
1.000	24

**Tabla 5:** Conductividad térmica (W/m·K) para el acero AISI 316 a diferentes temperaturas.

En esta ecuación no se ha considerado el término de resistencia a la transmisión de calor correspondiente al ensuciamiento, por considerarse despreciable.

Para el cálculo de los Coeficientes Individuales de Transmisión de Calor se ha empleado de entre las muchas ecuaciones que existen para fluidos circulando por el interior de conducciones de sección circular, la ecuación de “**Dittus-Boelter**”, ya que se trata de una expresión de Nusselt en la cual los valores de Reynolds y Prandtl de los casos estudiados están dentro de los intervalos para ésta ecuación.

**Ecuación de Dittus-Boelter:**

Para fluidos que se calientan, con viscosidad parecida o inferior a la del agua a la misma temperatura,  $10000 < Re < 120000$  y  $0,78 < Pr < 120$ :

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (37)$$

Donde  $Nu$  es el módulo de Nusselt,  $Re$  es el módulo de Reynolds y  $Pr$  es el módulo de Prandtl, que se definen por:

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} \quad (38)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (39)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (40)$$

siendo:

$h$ : coeficiente individual de transmisión de calor ( $W/m^2 \cdot K$ )

$d$ : diámetro característico (m)

$k$ : conductividad térmica del fluido ( $W/m \cdot K$ )

$\rho$ : densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$v$ : velocidad de circulación del fluido (m/s)

$\mu$ : viscosidad del fluido (Pa·s)

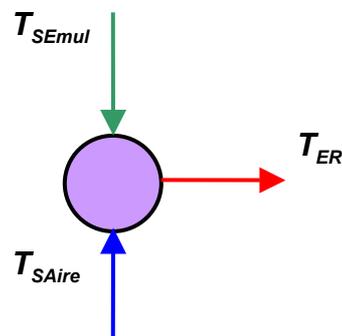
$Cp$ : calor específico del fluido ( $kJ/kg \cdot K$ )

Igualando las ecuaciones (37) y (38), se obtienen los coeficientes individuales de transmisión de calor:

$$\frac{h \cdot d}{k} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (41)$$

### 4.2.3 Balance de energía al punto de mezcla

En el punto de mezcla se da un contacto directo entre la corriente de emulsión y la corriente de aire. En este contacto directo la corriente de emulsión cederá calor a la corriente de aire. Ambas corrientes provienen de sendos intercambiadores donde se ha aumentado su temperatura con el fin de obtener una corriente mezcla de emulsión + aire a la temperatura adecuada para la posterior entrada al reactor.



**Figura 13.** Esquema del punto de mezcla

donde:

$T_{ER}$  = Temperatura de entrada al reactor.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Calor absorbido} \\ \text{por la corriente} \\ \text{de aire.} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Calor cedido} \\ \text{por la corriente} \\ \text{de emulsión.} \end{array} \right)$$

$$Q_{cedido} = Q_{absorbido} \quad (42)$$

$$m_{Emul} \cdot Cp_{Emul} \cdot (T_{SEmul} - T_{ER}) = m_{Aire} \cdot Cp_{Aire} \cdot (T_{ER} - T_{SAire}) \quad (43)$$

$$T_{ER} = \frac{m_{Emul} C_{p_{Emul}} T_{SEmul} + m_{Aire} C_{p_{Aire}} T_{SAire}}{m_{Emul} C_{p_{Emul}} + m_{Aire} C_{p_{Aire}}} \quad (44)$$

### 4.3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Para que la planta piloto sea autosuficiente y no necesite energía externa, la temperatura de entrada en el reactor ( $T_{ER}$ ) debe ser igual a la temperatura de entrada inicial al reactor ( $T_{ERinicial}$ ) y mantenerse constante. Esto es posible si en el reactor se genera la energía suficiente para precalentar la alimentación. De esta manera, el proceso solo necesitaría energía externa en la puesta en marcha de la instalación.

#### Algoritmo de Cálculo

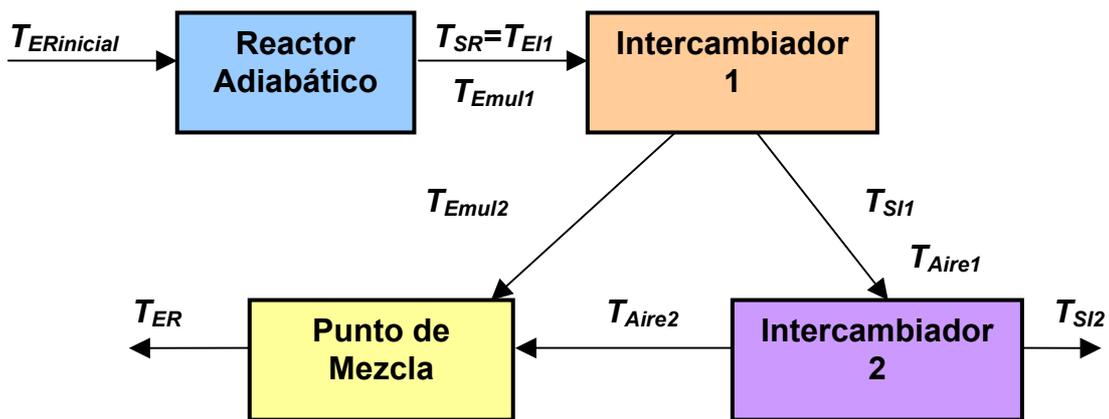


Figura 15. Algoritmo de cálculo

En primer lugar se calcula la temperatura de la corriente de salida del reactor, utilizando las condiciones iniciales a la entrada del reactor, y los balances de materia y energía.

Una vez calculada la temperatura de la corriente de salida del reactor, esta corriente entra en el interior del intercambiador 1 para precalentar la corriente de emulsión de taladrina, la cual entra en el intercambiador a temperatura ambiente. Utilizando el método de efectividad o NUT se

obtienen las temperaturas de salida de las corrientes de emulsión y de la corriente calefactora, proveniente del reactor.

Posteriormente esta corriente es la utilizada para el precalentamiento de la corriente de aire, el cual entra a una temperatura de 323K en el intercambiador 2. Igualmente utilizando las ecuaciones adecuadas se hallan las temperaturas de las corrientes de salida del intercambiador 2.

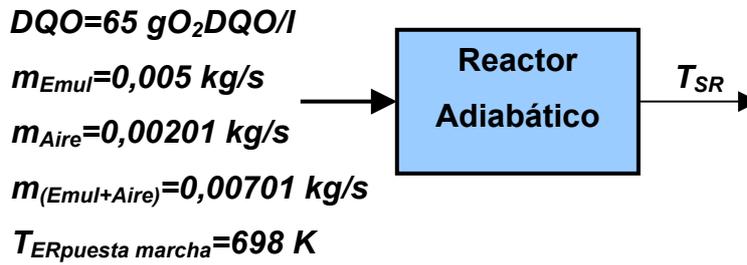
Una vez se obtienen las temperaturas de las corrientes de emulsión y aire, es posible calcular la temperatura de la corriente de entrada al reactor, tras pasar las dos corrientes por el punto de mezcla, para dar lugar a la corriente de alimentación (emulsión+aire).

Como ejemplo de los cálculos realizados se toman las siguiente variables de operación:

Caudal másico de emulsión de taladrina de 0,005 kg/s, con una carga contaminante de 65 gO<sub>2</sub>DQO/l, como se ha citado anteriormente se trabaja con un 30% de exceso en aire lo cual significa un caudal másico de este de 0,00201 kg/s, por tanto se tendrá un caudal másico de alimentación al reactor de 0,00701 kg/s.

Temperatura de puesta en marcha de 698 K, luego la alimentación entra en el reactor a dicha temperatura.

### 4.3.1 Cálculo de la temperatura de salida del reactor $T_{SR}$



**Figura 16.** Esquema de variables de entrada y salida en el reactor

Se trabaja con un exceso de oxígeno de un 30%, de esta forma se asegura que el oxígeno no es la especie limitante de la reacción.

Las reacciones de oxidación en agua supercrítica (OASC) son altamente exotérmicas, creándose un alto gradiente de temperatura entre la entrada y la salida del reactor. Por lo tanto, las propiedades físicas de la alimentación irán variando a lo largo del reactor debido al aumento de la temperatura.

La alimentación del reactor esta formada por una mezcla de emulsión de taladrina y aire. Se considera que la emulsión de taladrina tiene las mismas propiedades que el agua, ya que su composición es más del 95% en agua y se desconoce el Cp del restante 5% compuesto por taladrina.

El calor específico de la alimentación vendrá dado por la ecuación:

$$Cp_{alimentación} = \frac{m_{Emul} Cp_{Emul} + m_{Aire} Cp_{Aire}}{m_{Emul} + m_{Aire}} \quad (45)$$

Siendo:

$$Cp_{Emul} = Cp_{Agua} \quad (46)$$

$$Cp_{Aire} = 0,21Cp_{O_2} + 0,79Cp_{N_2} \quad (47)$$

Los cálculos se facilitan considerando el reactor como una batería de reactores conectados en serie, con tantos reactores como sea necesario para poder considerar que las propiedades físicas de la alimentación no cambian en el interior de cada uno de los reactores. Se estima que el reactor se puede dividir en 100 reactores teóricos de volumen igual a  $12,3cm^3$ . El incremento de temperatura que se da dentro de cada uno de los reactores teóricos es suficientemente pequeño como para poder suponer que las propiedades físicas permanecen constantes en cada uno de ellos.

La temperatura de salida de cada uno de los reactores teóricos,  $T_{SR}$ , se calcula con la ecuación (48) la cuál se obtiene sustituyendo la expresión (15) de la conversión,  $X_{As}$ , en la expresión (28) del balance de energía.

$$X_{As} = \left(1 - \frac{1}{e^{tk}}\right) \quad (15)$$

$$T_{SR} = T_{ER} - \frac{\Delta Hr \cdot F_{Ao} \cdot X_{As}}{\sum (F_i Cp_i)_s} \quad (28)$$

$$T_{SR} = T_{ER} - \frac{\Delta Hr \cdot F_{Ao} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{tk}}\right)}{\sum (F_i Cp_i)_s} \quad (48)$$

Con la ecuación de Arrhenius (2) se calcula la coeficiente cinetico "k":

$$k = A \cdot e^{\frac{-Ea}{RT}} \quad (2)$$

Los datos de factor de frecuencia (A) y energía de activación (Ea) para el proceso de oxidación de taladrinas son tomados de la bibliografía (Jezabel Sánchez, 2005).

$$A = 1 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$$

$$Ea = 78880 \text{ J/mol}$$

$$R = 8,315 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$k = 1 \times 10^5 \text{ s}^{-1} \cdot e^{\frac{-78880 \text{ J/mol}}{8,315 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times 698 \text{ K}}} = 0,125 \text{ s}^{-1}$$

El tiempo espacial  $\tau$  viene dado por la expresión (12)

$$\tau = \frac{V}{Q_0} \quad (12)$$

siendo:

$$Q_0 = \frac{m_{Emul}}{\rho_{Emul}} + \frac{m_{Aire}}{\rho_{Aire}} \quad (49)$$

$$Q_0 = \frac{0,005 \text{ kg/s}}{0,124 \text{ kg/l}} + \frac{0,00201 \text{ kg/s}}{0,112 \text{ kg/l}} = 0,0582 \text{ l/s}$$

El tiempo espacial para el primero de los cien reactores sería:

$$\tau = \frac{0,0123 \text{ l}}{0,0582 \text{ l/s}} = 0,21 \text{ s}$$

Como entalpía de reacción  $\Delta Hr$  se utiliza un valor experimental tomado de las referencias bibliográficas (Jezabel Sánchez, 2005) de:

$$\Delta Hr = -5,96 \text{ kJ} / \text{gO}_2 \text{ DQO}$$

Con estos datos se obtiene una temperatura de salida del primer reactor teórico igual a:

$$T_{SR1} = 698K - \frac{-5,96 \text{ kJ} / \text{gO}_2 \text{ DQO} \times 0,33 \text{ gO}_2 \text{ DQO} / \text{s} \times \left(1 - \frac{1}{e^{0,21 \text{ s} \times 0,125 \text{ s}^{-1}}}\right)}{0,00701 \text{ kg} / \text{s} \times 5,20 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}} = 699,36K$$

La conversión obtenida en este pequeño reactor según la ecuación (14) es de:

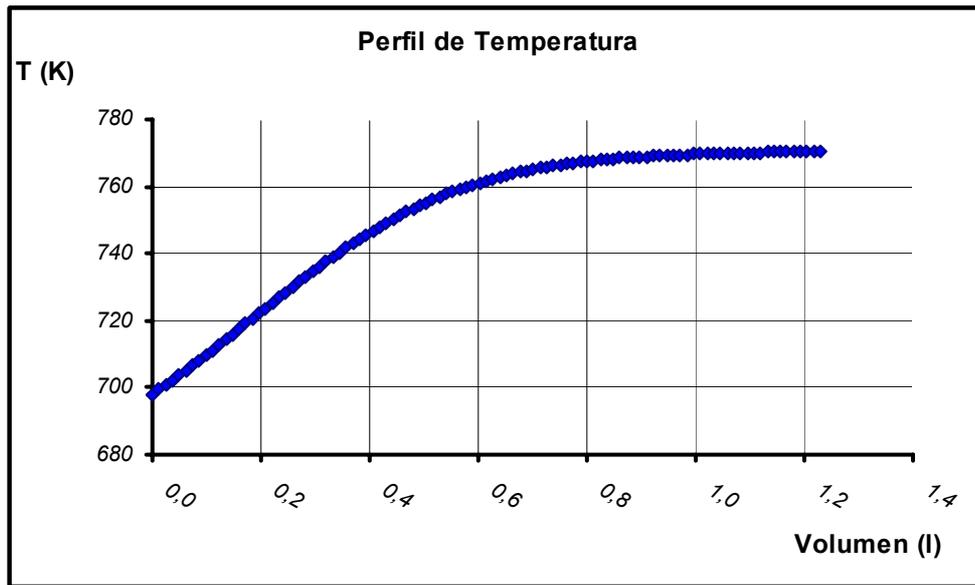
$$X_{As} = \left(1 - \frac{1}{e^{\tau \cdot k}}\right) = 1 - e^{-\tau \cdot k} \quad (15)$$

$$X_{As} = 1 - e^{-0,21 \text{ s} \times 0,125 \text{ s}^{-1}} = 0,026$$

Repitiendo este cálculo para los 100 reactores teóricos, se llega a calcular la conversión y la temperatura de salida del último reactor teórico,  $T_{SR100}$ . Dicha temperatura se supone igual a la temperatura de salida del reactor de la instalación  $T_{SR}$ .

$$T_{SR100} = T_{SR}$$

El perfil de temperatura a lo largo del volumen del reactor responde a la siguiente gráfica:

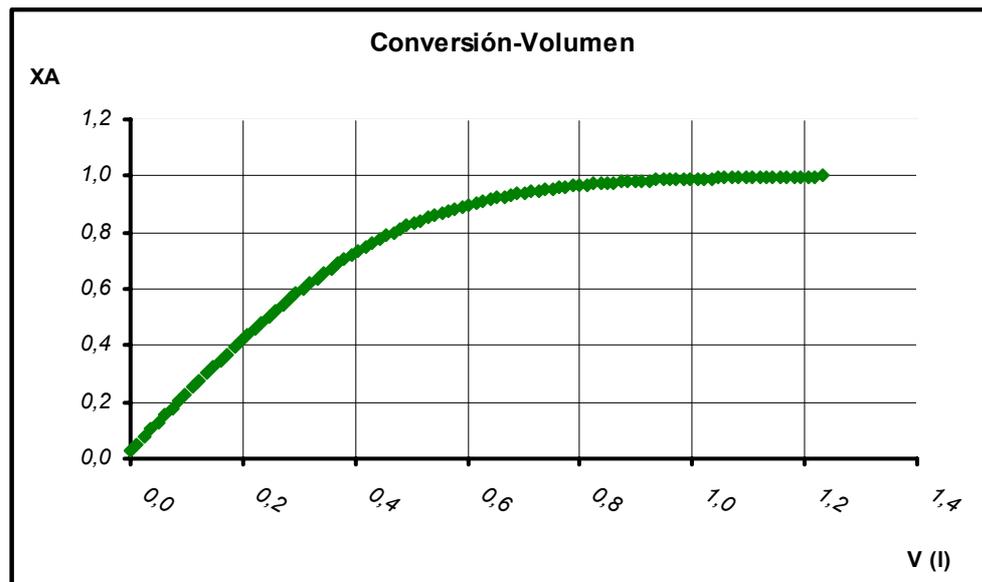


**Gráfica 1:** Perfil de Temperatura en el reactor

Con una temperatura a la salida del reactor:

$$T_{SR} = 770,4K$$

La conversión conseguida dentro del reactor es del 100%



**Gráfica 2:** Conversión en el reactor

### 4.3.2 Cálculo de las temperaturas de salida del intercambiador 1, $T_{SI1}$ y $T_{Emul2}$

Una vez calculada la temperatura de salida de reactor  $T_{SR}$  se analizan los intercambiadores de calor.

En primer lugar, el intercambiador de calor empleado en el precalentamiento de la corriente de emulsión de taladrina.

La taladrina se encuentra inicialmente en un deposito de polipropileno a temperatura ambiente. Posteriormente se mezcla con el agua, también a temperatura ambiente, en las proporciones adecuadas para dar lugar a una emulsión de taladrina, de DQO igual a 65 gO<sub>2</sub>DQO/l.



**Figura 17.** Esquema de variables de entrada y salida en el intercambiador 1.

El intercambiador 1 tiene perfectamente definidas las corrientes de entrada y sus temperaturas de entrada al intercambiador, tanto la del efluente calefactor (corriente salida del reactor,  $T_{SR}$ ), como la temperatura del efluente frío, (corriente de emulsión de taladrina,  $T_{amb}$ ).

Las propiedades físicas de las corrientes irán cambiando a lo largo del intercambiador de calor debido a la variación de temperatura. Para facilitar los cálculos se estima un valor promedio de las propiedades físicas de cada

una de las corrientes entre la temperatura de entrada y salida del intercambiador

Las temperaturas de salida del intercambiador 1 se calculan mediante el “**Método de efectividad o NUT**”, ya que este facilita el cálculo de las temperaturas de salida de las corrientes, y con ellas la variación de temperatura a lo largo del intercambiador, el método consiste en:

Se define efectividad como:

**Efectividad ( $\varepsilon$ )**: cociente entre el calor real transferido y la máxima cantidad de calor que se puede intercambiar en un intercambiador en contracorriente de longitud infinita.

El balance global del intercambiador de calor se expresa en función del fluido frío o del fluido caliente de la siguiente forma:

$$Q = Cc \cdot (T_{EI1} - T_{SI1}) = Cf \cdot (T_{SEmul} - T_{EEmul}) \quad (50)$$

siendo:

$Cc$ = Capacidad Calorífica del fluido caliente (kJ/s·K)

$Cf$ = Capacidad Calorífica del fluido frío (kJ/s·K)

$$Cc = m_{11} \cdot Cp_{11} \quad (51)$$

$$Cf = m_{Emul} \cdot Cp_{Emul} \quad (52)$$

Un intercambiador con corrientes en contracorriente si su longitud fuera infinita:

- Si  $Cf < Cc$  (53)

$$T_{Emul2} \rightarrow T_{EI1} \quad (54)$$

$$Q_{max} = C_f \cdot (T_{EI1} - T_{Emul1}) \quad (55)$$

- Si  $C_c < C_f$  (56)

$$T_{SI1} \rightarrow T_{Emul1} \quad (57)$$

$$Q_{max} = C_c \cdot (T_{EI1} - T_{Emul1}) \quad (58)$$

Por lo tanto el  $Q_{max}$  vendrá dado por la capacidad calorífica mínima ( $C_{min}$ ).

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEEmul}) \quad (59)$$

La efectividad vendrá dada por la expresión:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_c \cdot (T_{EI1} - T_{SI1})}{C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEEmul})} = \frac{C_f \cdot (T_{SEEmul} - T_{EEEmul})}{C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEEmul})} \quad (60)$$

Por otro lado tenemos la expresión de NUT “Numero de Unidades de Transferencia”

$$NUT = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (61)$$

Según las tablas de expresiones de intercambiadores de calor la expresiones que corresponde a un intercambiador de doble tubería con flujos en contracorrientes es:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT \cdot (1 - C)]}{1 - C \cdot \exp[-NUT \cdot (1 - C)]} \quad (62)$$

$$NUT = \frac{1}{C-1} \ln\left(\frac{\varepsilon-1}{C \cdot \varepsilon-1}\right) \quad (63)$$

siendo:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (64)$$

Con las ecuaciones (61), (62) y (63) se pueden calcular las temperaturas de salida del intercambiador.

Posteriormente se realiza un ejemplo de cálculo de las temperaturas de salida del intercambiador.

Este es un cálculo iterativo por lo que inicialmente se debe suponer un valor para  $T_{Emul2}$  y  $T_{El1}$ , para el cálculo de un valor promedio de las propiedades físicas de las corrientes entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida. Al igual que se debe tener en cuenta la composición de cada corriente.

La corriente líquida (>95% de agua) puede ser considerada como agua.

$$Cp_{Emul(T_{EEmul}-T_{SEmul})} = Cp_{H_2O(T_{EEmul}-T_{SEmul})} \quad (65)$$

$$\rho_{Emul(T_{EEmul}-T_{SEmul})} = \rho_{H_2O(T_{EEmul}-T_{SEmul})} \quad (66)$$

$$\mu_{Emul(T_{EEmul}-T_{SEmul})} = \mu_{H_2O(T_{EEmul}-T_{SEmul})} \quad (67)$$

$$K_{Emul(T_{EEmul}-T_{SEmul})} = K_{H_2O(T_{EEmul}-T_{SEmul})} \quad (68)$$

Por otro lado la corriente de salida del reactor esta compuesta por lo productos de la oxidación en agua supercrítica que se ha dado dentro del reactor.

Para la taladrina objeto de estudio (BIOCUT) no se conoce su composición con total precisión, por lo que se ha utilizado una expresión empírica tomada de la bibliografía (Sánchez Oneto, 2005) para representar la reacción de oxidación:



De este modo, para una  $DQO=65gO_2/DQO/l$  y 30% exceso de oxígeno, la composición aproximada de la corriente de salida del reactor suponiendo una conversión completa será:

66%  $H_2O$

28%  $N_2$

5%  $CO_2$

2%  $O_2$

Por tanto las propiedades físicas de la corriente de entrada al intercambiador de la corriente caliente vendrán dadas por las siguientes expresiones, para el caso en estudio:

$$Cp_{I1(T_{E11}-T_{S11})} = 0,61Cp_{H_2O} + 0,32Cp_{N_2} + 0,05Cp_{CO_2} + 0,02Cp_{O_2} \quad (69)$$

$$\rho_{I1(T_{E11}-T_{S11})} = 0,61\rho_{H_2O} + 0,32\rho_{N_2} + 0,05\rho_{CO_2} + 0,02\rho_{O_2} \quad (70)$$

$$\mu_{I1(T_{E11}-T_{S11})} = 0,61\mu_{H_2O} + 0,32\mu_{N_2} + 0,05\mu_{CO_2} + 0,02\mu_{O_2} \quad (71)$$

$$\kappa_{I1(T_{EI1}-T_{SI1})} = 0,61\kappa_{H_2O} + 0,32\kappa_{N_2} + 0,05\kappa_{CO_2} + 0,02\kappa_{O_2} \quad (72)$$

Temperaturas supuestas:

- $T_{SEmul} = 725K$

$$Cp_{Emul(298K-725K)} = 6,663 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$\rho_{Emul(298K-725K)} = 731,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{Emul(298K-725K)} = 1,82 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot s$$

$$\kappa_{Emul(298K-725K)} = 0,551 \text{ W/m} \cdot K$$

- $T_{SI1} = 350K$

$$Cp_{I1(350K-770K)} = 4,821 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$\rho_{I1(350K-770K)} = 471,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{I1(350K-770K)} = 8,71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$\kappa_{I1(350K-770K)} = 0,34 \text{ W/m} \cdot K$$

Es necesario destacar que para realizar los cálculos del intercambiador se ha tomado un valor promedio de las propiedades del fluido entre las temperaturas de entrada y salida de las corrientes a su paso, incluso aunque el intervalo de temperaturas sea muy grande y tenga lugar

un cambio a estado supercrítico de las corrientes. El hecho de considerar el valor promedio como una buena aproximación viene de la bibliografía (Orúe,2002), ya que en este proyecto se puede apreciar como el resultado al realizar los cálculos dividiendo el intercambiador en cinco tramos es aproximadamente el mismo que el que se obtiene suponiendo un único tramo de intercambiador.

El cálculo de las temperaturas de las corrientes de salida del intercambiador se realiza de la siguiente forma:

En primer lugar se determina el  $C_{min}$  con las expresiones (51) y (52):

$$C_c = m_{I1} C_{p_{I1}} = 0,00701 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,821 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 0,0337 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{K}}$$

$$C_f = m_{Emul} C_{p_{Emul}} = 0,005 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 6,663 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 0,0333 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{K}}$$

$$C_{min} = C_f = 0,0333 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{K}}$$

$$C_{max} = C_c = 0,0337 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{K}}$$

El  $Q$  máximo por medio de la ecuación (59):

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEmul}) \quad (59)$$

$$Q_{max} = 0,0333 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{K}} \times (770,4\text{K} - 298\text{K}) = 15,73\text{kW}$$

Se calcula el valor del coeficiente global de transmisión de calor “U” mediante la ecuación (36), calculando con anterioridad los coeficientes

individuales de transmisión de calor, por medio de las ecuaciones (39), (40) y (41).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (39)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (40)$$

$$\frac{h \cdot d}{k} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (41)$$

$$h_e = 0,023 \times 7080,47^{0,8} \times 2,197^{0,4} \times \frac{0,551 W/m \cdot K}{0,01232 m} = 1694,76 W/m^2 \cdot K$$

$$h_i = 0,023 \times 16578,09^{0,8} \times 1,237^{0,4} \times \frac{0,34 W/m \cdot K}{0,00618 m} = 3268,3 W/m^2 \cdot K$$

$$U_{i1} = \frac{1}{\frac{r_i}{r_e h_i} + \frac{r_i}{k} \ln \frac{r_i}{r_e} + \frac{1}{h_e}} \quad (36)$$

$$U_{i1} = \frac{1}{\frac{0,00309 m}{0,00616 m \times 3268,3 W/m^2 \cdot K} + \frac{0,00309 m}{17,28 W/m \cdot K} \ln \frac{0,00309 m}{0,00616 m} + \frac{1}{1694,76 W/m^2 \cdot K}}$$

$$U_{i1} = 846,5 W/m^2 \cdot K = 0,846 kW/m^2 \cdot K$$

Se calcula NUT y C con las ecuaciones (61) y (64), con estos valores se obtiene la efectividad del intercambiador mediante la ecuación (62).

$$NUT = \frac{U_{I1} \cdot A_{I1}}{C_{min}} \quad (61)$$

$$NUT = \frac{0,846 \text{ kW} / \text{m}^2 \cdot \text{K} \times 0,3435 \text{ m}^2}{0,0333 \text{ kJ} / \text{s} \cdot \text{K}} = 8,73$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (64)$$

$$C = \frac{0,0333 \text{ kJ} / \text{s} \cdot \text{K}}{0,0337 \text{ kJ} / \text{s} \cdot \text{K}} = 0,99$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT \cdot (1 - C)]}{1 - C \cdot \exp[-NUT \cdot (1 - C)]} \quad (62)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-8,73 \times (1 - 0,99)]}{1 - 0,99 \times \exp[-8,73 \times (1 - 0,99)]} = 0,90$$

Una vez obtenida la efectividad podemos obtener las temperaturas de salida de las dos corrientes del intercambiador, mediante el uso de la ecuación (59).

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_c \cdot (T_{EI1} - T_{SI1})}{C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEEmul})} = \frac{C_f \cdot (T_{SEEmul} - T_{EEEmul})}{C_{min} \cdot (T_{EI1} - T_{EEEmul})} \quad (60)$$

despejando:

$$T_{SEEmul} = T_{EEEmul} + \frac{\varepsilon \cdot Q_{max}}{C_f} \quad (73)$$

$$T_{SEEmul} = 298\text{K} + \frac{0,9 \times 15,73 \text{ kW}}{0,0333 \text{ kJ} / \text{s} \cdot \text{K}} = 725\text{K}$$

$$T_{SI1} = T_{EI1} - \frac{\varepsilon \cdot Q_{max}}{C_c} \tag{74}$$

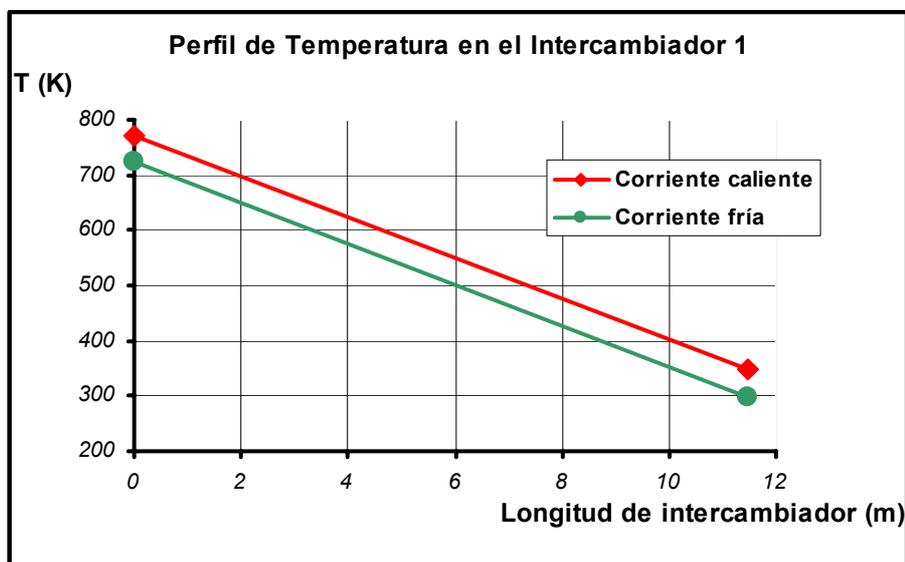
$$T_{SI1} = 789,6K - \frac{0,9 \times 15,73kW}{0,0337 \text{ kJ/s} \cdot K} = 350K$$

Una vez obtenidas las temperaturas de salida, estas deben ser igual a las supuestas inicialmente, si estas no coinciden se vuelven a iterar los cálculos hasta llegar a las temperaturas de salida del intercambiador.

Iterando para el caso que tenemos como ejemplo, finalmente se obtiene:

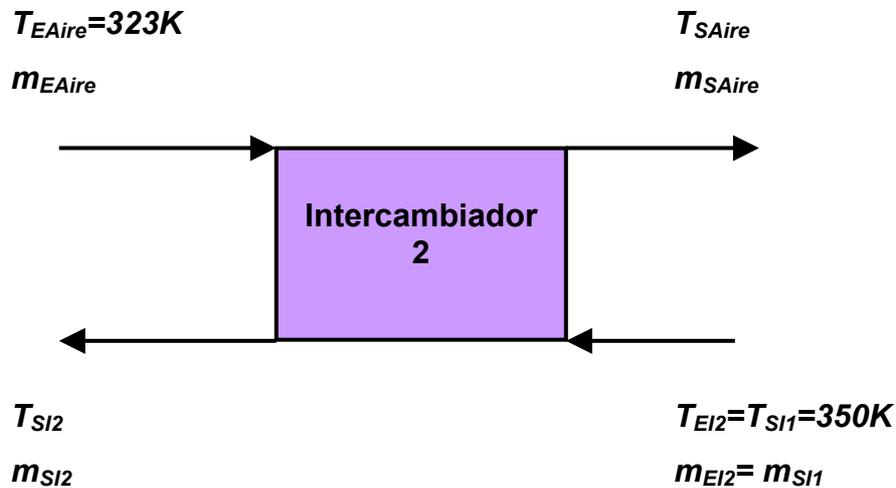
$$T_{SI1} = T_{EI2} = 350K$$

$$T_{Emul2} = 725K$$



**Gráfico 3:** Perfil de temperatura en el intercambiador 1

**4.3.3 Cálculo de las temperaturas de salida del intercambiador 2,  $T_{SI2}$  y  $T_{Aire2}$**



**Figura 18.** Esquema de variables de entrada y salida en el intercambiador 2.

Una vez analizado el intercambiador 1 con el mismo procedimiento de cálculo se procede al análisis del intercambiador 2. En el cuál como fluido frío entra la alimentación de aire y como fluido caliente el proveniente del primer intercambiador.

El aire proviene de unas botellas de almacenamiento y su temperatura de entrada al intercambiador 2, es entorno a los 50 °C. Por su parte el fluido caliente viene a la temperatura anteriormente calculada de salida del intercambiador 1.

Las propiedades físicas de la corriente gaseosa vendrán dadas por las ecuaciones:

$$Cp_{Aire(T_{EAire}-T_{SAire})} = 0,21Cp_{O_2} + 0,79Cp_{N_2} \quad (75)$$

$$\rho_{Aire(T_{EAire}-T_{SAire})} = 0,21\rho_{O_2} + 0,79\rho_{N_2} \quad (76)$$

$$\mu_{Aire(T_{EAire}-T_{SAire})} = 0,21\mu_{O_2} + 0,79\mu_{N_2} \quad (77)$$

$$\kappa_{Aire(T_{EAire}-T_{SAire})} = 0,21\kappa_{O_2} + 0,79\kappa_{N_2} \quad (78)$$

Se supone una temperatura de salida del intercambiador 2 del aire de:

$$T_{SAire_{supuesta}} = 350K$$

Las propiedades físicas de la corriente de aire serán:

$$Cp_{Aire(323K-350K)} = 1,25 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$\rho_{Aire(323K-350K)} = 238,47 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{Aire(323K-350K)} = 2,59 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$\kappa_{Aire(323K-350K)} = 0,0413 \text{ W/m} \cdot K$$

Se utilizan las mismas ecuaciones, (69), (70), (71) y (72) para el calculo de las propiedades físicas de la corriente caliente.

$$Cp_{I2(T_{EI1}-T_{SI1})} = 0,61Cp_{H_2O} + 0,32Cp_{N_2} + 0,05Cp_{CO_2} + 0,02Cp_{O_2} \quad (69)$$

$$\rho_{I2(T_{EI1}-T_{SI1})} = 0,61\rho_{H_2O} + 0,32\rho_{N_2} + 0,05\rho_{CO_2} + 0,02\rho_{O_2} \quad (70)$$

$$\mu_{I2(T_{EI1}-T_{SI1})} = 0,61\mu_{H_2O} + 0,32\mu_{N_2} + 0,05\mu_{CO_2} + 0,02\mu_{O_2} \quad (71)$$

$$\kappa_{I2(T_{EI1}-T_{SI1})} = 0,61\kappa_{H_2O} + 0,32\kappa_{N_2} + 0,05\kappa_{CO_2} + 0,02\kappa_{O_2} \quad (72)$$

Se supone una temperatura de salida del intercambiador 2 del fluido caliente de:

$$T_{SI2_{sup\ uesta}} = 347K$$

$$Cp_{I2(347K-350K)} = 3,19 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$\rho_{I2(347K-350K)} = 746,63 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{I2(347K-350K)} = 2,65 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot s$$

$$k_{I2(347K-350K)} = 0,462 \text{ W/m} \cdot K$$

El procedimiento es igual que para el primer intercambiador. En primer lugar se determina el  $C_{min}$  con las expresiones (51) y (52):

$$C_c = m_{I2} Cp_{I2} = 0,00701 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 3,19 \text{ kJ/kg} \cdot K = 0,0224 \text{ kJ/s} \cdot K$$

$$C_f = m_{Aire} Cp_{Aire} = 0,00201 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,25 \text{ kJ/kg} \cdot K = 0,0025 \text{ kJ/s} \cdot K$$

$$C_{min} = C_f = 0,0025 \text{ kJ/s} \cdot K$$

$$C_{max} = C_c = 0,0224 \text{ kJ/s} \cdot K$$

El  $Q$  máximo por medio de la ecuación (59):

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{EI2} - T_{EAire}) \quad (59)$$

$$Q_{max} = 0,0025 \frac{kJ}{s \cdot K} \times (350K - 323K) = 0,0675 kW$$

Se calcula el valor del coeficiente global de transmisión de calor “U” mediante la ecuación (36), calculando con anterioridad los coeficiente individuales de transmisión de calor, por medio de las ecuaciones (39), (40) y (41).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (39)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (40)$$

$$\frac{h \cdot d}{k} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (41)$$

$$h_e = 0,023 \times 19993^{0,8} \times 0,784^{0,4} \times \frac{0,041 W/m \cdot K}{0,01232 m} = 193,02 W/m^2 \cdot K$$

$$h_i = 0,023 \times 5454,62^{0,8} \times 1,83^{0,4} \times \frac{0,46 W/m \cdot K}{0,00618 m} = 2136,28 W/m^2 \cdot K$$

$$U_{12} = \frac{1}{\frac{r_i}{r_e h_i} + \frac{r_i}{k} \ln \frac{r_i}{r_e} + \frac{1}{h_e}} \quad (36)$$

$$U_{12} = \frac{1}{\frac{0,00309 m}{0,00616 m \times 2136,28 W/m^2 \cdot K} + \frac{0,00309 m}{13,97 W/m \cdot K} \ln \frac{0,00309 m}{0,00616 m} + \frac{1}{193,02 W/m^2 K}}$$

$$U_{l2} = 165,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} = 0,165 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$$

Se calcula NUT y C con las ecuaciones (61) y (64), con estos valores se obtiene la efectividad del intercambiador mediante la ecuación (62).

$$NUT = \frac{U_{l2} \cdot A_{l2}}{C_{min}} \quad (61)$$

$$NUT = \frac{0,165 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K} \times 0,157 \text{ m}^2}{0,0025 \text{ kJ/s} \cdot \text{K}} = 10,34$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (64)$$

$$C = \frac{0,0025 \text{ kJ/s} \cdot \text{K}}{0,0224 \text{ kJ/s} \cdot \text{K}} = 0,11$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT \cdot (1 - C)]}{1 - C \cdot \exp[-NUT \cdot (1 - C)]} \quad (62)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-10,34 \times (1 - 0,11)]}{1 - 0,11 \times \exp[-10,34 \times (1 - 0,11)]} = 0,99$$

Una vez obtenida la efectividad podemos obtener las temperaturas de salida de las dos corrientes del intercambiador, mediante el uso de la ecuación (60).

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_c \cdot (T_{El2} - T_{Sl2})}{C_{min} \cdot (T_{El2} - T_{EAire})} = \frac{C_f \cdot (T_{SAire} - T_{EAire})}{C_{min} \cdot (T_{El2} - T_{EAire})} \quad (60)$$

$$T_{Aire2} = T_{Aire1} + \frac{\varepsilon \cdot Q_{max}}{C_f} \quad (79)$$

$$T_{SAire} = 323K + \frac{0,99 \times 0,0675kW}{0,0025 \text{ kJ/s} \cdot K} = 349,73K$$

$$T_{SI2} = T_{EI2} - \frac{\varepsilon \cdot Q_{max}}{Cc} \quad (80)$$

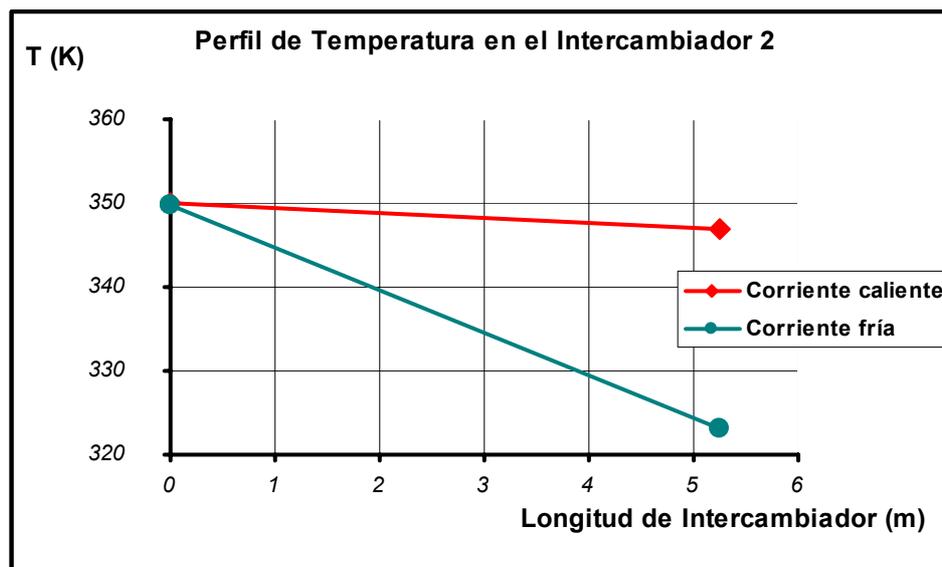
$$T_{SI2} = 350K - \frac{0,99 \times 0,0675kW}{0,0224 \text{ kJ/s} \cdot K} = 347,02K$$

Una vez obtenidas las temperaturas de salida, estas deben ser igual a las supuestas inicialmente, si estas no coinciden se vuelven a iterar los cálculos hasta llegar a las temperaturas de salida del intercambiador.

Iterando para el caso que tenemos como ejemplo, se obtiene:

$$T_{SI2} = 347,02K$$

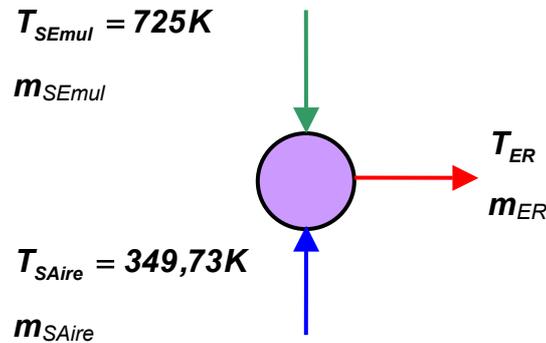
$$T_{SAire} = 349,73K$$



**Gráfica 4:** Perfil de Temperatura en el intercambiador 2

#### 4.3.4 Temperatura de salida del punto de mezcla $T_{ER}$

Siguiendo con el ejemplo anterior, puede ahora calcularse la temperatura de salida del punto de mezcla.



**Figura 19.** Esquema de variables de entrada y salida en el punto de mezcla.

Una vez conocida las temperaturas de salida de los efluentes de emulsión de taladrina y aire en los intercambiadores, estas dos corrientes se mezclan por contacto directo para así llegar a la temperatura de entrada en el reactor.

La emulsión tendrá una temperatura mayor que la corriente de aire que absorbe calor de la corriente de emulsión, hasta tener una mezcla de emulsión+aire a la temperatura adecuada.

Del mismo modo para promediar los valores de los calores específicos ( $C_p$ ), se resuelve con un cálculo iterativo suponiendo inicialmente que la temperatura de salida del punto de mezcla es igual a la temperatura inicial de la puesta en marcha de la instalación.

$$T_{ER\text{supuesta}} = 698K$$

Con el calor específico promedio entre la temperatura de entrada y salida del punto de mezcla.

$$Cp_{Emul(698K-725K)} = 5,862 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$Cp_{Aire(350K-698K)} = 1,143 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Según las ecuaciones (44), la temperatura de salida del punto de mezcla de la corriente de alimentación del reactor es:

$$T_{ER} = \frac{m_{Emul} Cp_{Emul} T_{Emul2} + m_{Aire} Cp_{Aire} T_{Aire2}}{m_{Emul} Cp_{Emul} + m_{Aire} Cp_{Aire}} \quad (44)$$

$$T_{ER} = \frac{0,005 \text{ kg/s} \times 5,86 \text{ kJ/kg} \cdot K \times 725K + 0,00201 \text{ kg/s} \times 1,143 \text{ kJ/kg} \cdot K \times 350K}{0,005 \text{ kg/s} \times 5,86 \text{ kJ/kg} \cdot K + 0,00201 \text{ kg/s} \times 1,143 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$T_{ER} = 697,6K$$

Esta es la temperatura con la cual entraría la alimentación al reactor una vez que han pasado las dos corrientes de alimentación por sendos intercambiadores y mezclado posteriormente en el punto de mezcla situado a la entrada del reactor tubular.

Este valor de temperatura coincide aproximadamente con la temperatura de puesta en marcha del sistema (698K), esto implica que el sistema se puede mantener en funcionamiento sin ningún aporte energético externo, ya que la temperatura a la entrada del reactor es la necesaria para que la reacción de oxidación que se da en su interior se mantenga produciendo el calor necesario para el precalentamiento adecuado de las corrientes de alimentación.

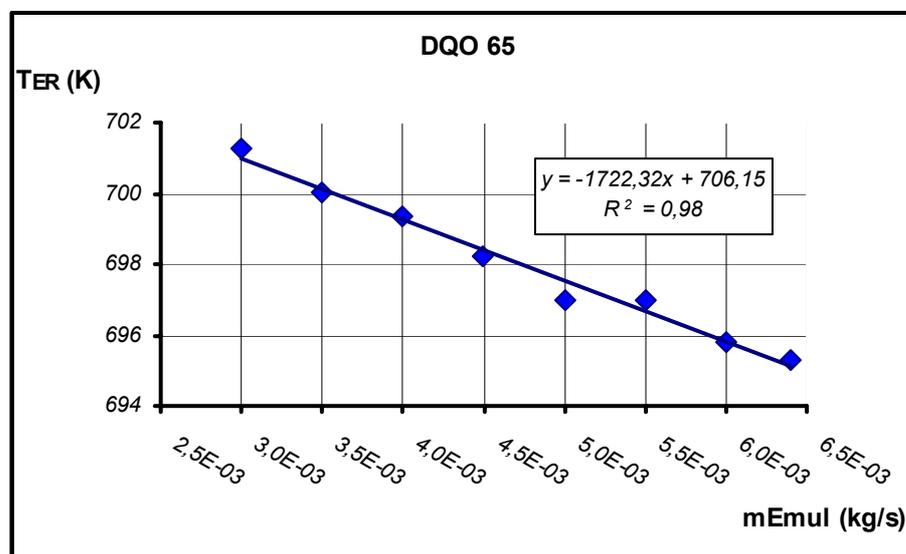
#### 4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los cálculos anteriormente mencionados se han repetido para distintos caudales de alimentación con el fin de determinar la variación de la temperatura de entrada al reactor  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación. De esta forma se puede determinar los caudales en los que se consigue trabajar en un régimen autotérmico donde la  $T_{ER}$  es igual a la temperatura de entrada al reactor inicial  $T_{ERinicial}$  de la puesta en marcha de la instalación. (a la cual se llega por medio de unas resistencias eléctricas las cuales precalientan la alimentación de emulsión de taladrina antes de su entrada al reactor).

Por tanto se obtendrá la siguiente gráfica para las condiciones de operación utilizadas en el caso de estudio.

$$T_{ERinicial}=698K$$

$$DQO=65gO_2/DQO/l$$



**Gráfica 5.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 65g).

Haciendo uso de la recta de regresión dada en la grafica 5 se aprecia como para un caudal de emulsión de taladrina de  $4,73 \times 10^{-3}$  kg/s, se obtiene una temperatura de entrada al reactor de 698K, la cual coincide con la temperatura de entrada al reactor en la puesta en marcha de la planta piloto para las condiciones de operación dadas.

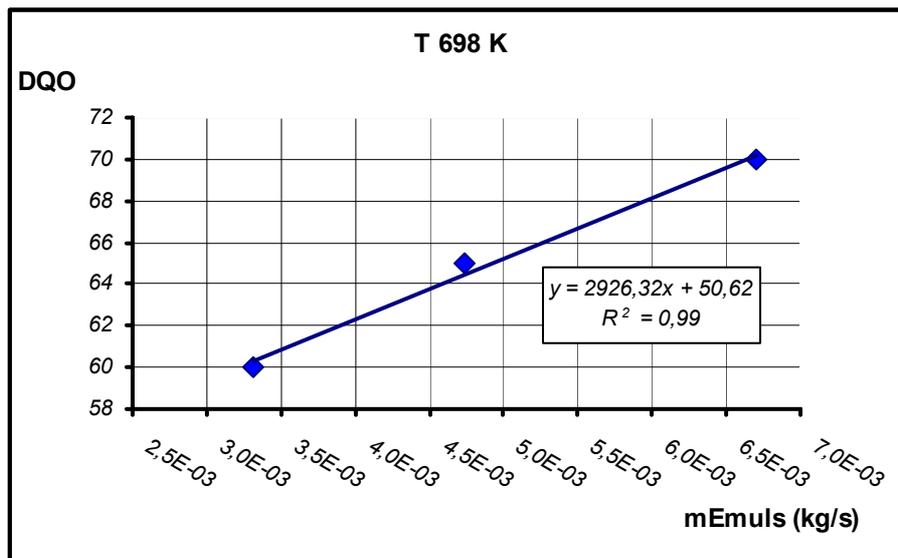
A mayores caudales de emulsión, la corriente de salida del reactor no tiene la suficiente temperatura como para ser utilizada en el precalentamiento de las corrientes de emulsión y aire hasta las temperaturas adecuadas, para que tras pasar por el punto de mezcla, se obtenga una corriente de alimentación a 698K. Por tanto a mayores caudales el sistema irá disminuyendo su temperatura, hasta temperaturas donde no se encuentren las corrientes en condiciones supercríticas.

A menores caudales de  $4,73 \times 10^{-3}$  kg/s, la reacción de oxidación produce demasiado calor, por lo que la corriente a la salida del reactor estará a una temperatura muy elevada, se precalentaría en exceso las corrientes de emulsión y aire, y la resultante corriente de alimentación al reactor tendrá una temperatura mayor a la temperatura inicial, disparándose así la reacción en el reactor, dando lugar a temperaturas cada vez más altas a la salida del reactor, lo cual puede resultar peligroso para la integridad de la planta piloto.

Si se repiten todos los cálculos para distintas DQO de alimentación, se obtiene un estudio de las condiciones de operación donde el sistema se comporta con un régimen autotérmico, en el cual no necesita de aporte energético externo.

T 698 K		
DQO(gO <sub>2</sub> ,DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
60	3,3E-03	1,23E-03
65	4,7E-03	1,90E-03
70	6,7E-03	2,90E-03

**Tabla 6.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=698K$



**Gráfica 6.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico.

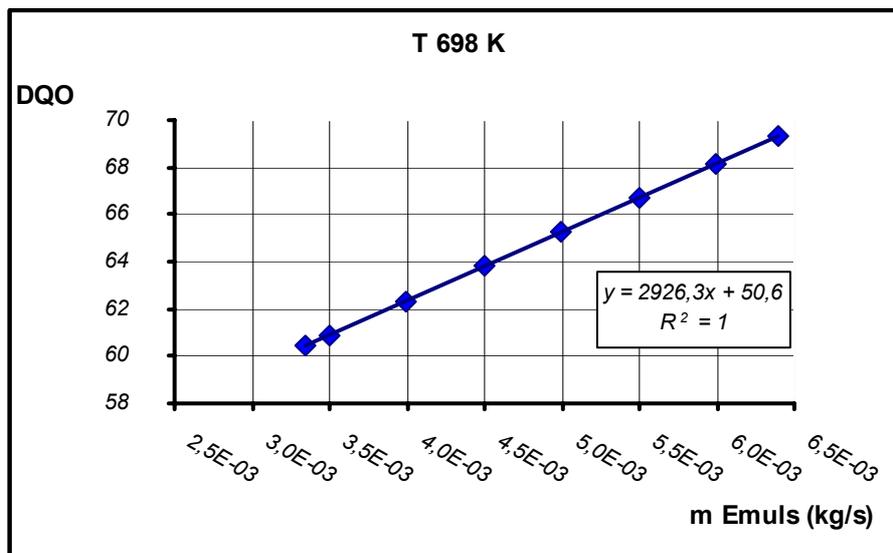
Considerando las limitaciones del compresor que proporciona el aire a la planta piloto, se obtendrá el intervalo de DQO y caudal de emulsión de taladrina que se puede tratar, dentro de un estado estacionario donde la instalación se mantiene sin ningún aporte energético, aparte del empleado para la puesta en marcha de la planta.

T 698 K			
DQO(gO <sub>2</sub> /l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
69,4	6,4x10 <sup>-3</sup>	2,75x10 <sup>-3</sup>	98,83
68,2	6,0x10 <sup>-3</sup>	2,53x10 <sup>-3</sup>	99,17
66,7	5,5x10 <sup>-3</sup>	2,27x10 <sup>-3</sup>	99,50
65,3	5,0x10 <sup>-3</sup>	2,02x10 <sup>-3</sup>	99,72
63,8	4,5x10 <sup>-3</sup>	1,78x10 <sup>-3</sup>	99,86
62,3	4,0x10 <sup>-3</sup>	1,54x10 <sup>-3</sup>	99,94
60,9	3,5x10 <sup>-3</sup>	1,32x10 <sup>-3</sup>	99,98
60,4	3,3x10 <sup>-3</sup>	1,25x10 <sup>-3</sup>	100,00

**Tabla 7.** Condiciones de operación para T<sub>ER</sub>=698K, dentro de los márgenes de operación.

Representado gráficamente:

**T<sub>ERinicial</sub>=698K**

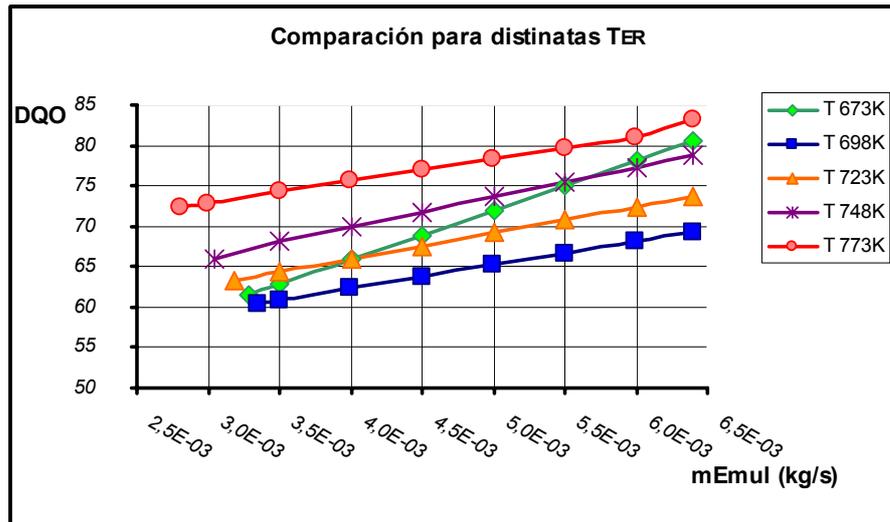


**Gráfica 7** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico, dentro de los márgenes de operación.

Esta gráfica nos muestra el rango de condiciones de trabajo, en las cuales se consigue trabajar en régimen autotérmico sin necesidad de un aporte de energía externo, dentro de las limitaciones de la planta piloto objeto de estudio del presente proyecto.

En el anexo gráficas se puede apreciar los resultados de este mismo estudio para distintas  $T_{ER}$ : 673K, 698K, 723K, 748K, 773K.

En la siguiente gráfica se puede apreciar la variación de los resultados del estudio a distintas temperaturas de entrada al reactor:



**Gráfica 8** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico, dentro de los márgenes de operación. Para distintas temperaturas de entrada al reactor.

Al comparar las distintas condiciones de operación donde se obtiene un régimen autotérmico para distintas temperaturas de entrada al reactor iniciales se llega a las siguientes conclusiones:

Se aprecia como para una  $T_{ERinicial}=673K$  el rango de DQO que se puede tratar es mucho mayor que para el resto de las temperaturas.

Para una  $T_{ERinicial}=673K$ , la temperatura no es lo suficientemente alta, esto provoca que la velocidad de reacción resultante no sea la apropiada para que en el reactor se de una conversión completa, (aunque se dan conversiones bastante elevadas de entorno al 80-90%) por lo tanto se

precisa de una mayor DQO para alcanzar temperaturas adecuadas de la corriente a la salida del reactor.

A temperaturas mayores de 673K, se puede apreciar como el rango de DQO a tratar en la planta se va reduciendo, las líneas siguen todas las mismas tendencias, tratándose de líneas prácticamente paralelas.

Para Temperaturas mayores a 673K el proceso se ve más favorecido ya que con mayores temperaturas, la velocidad de reacción se mejora, lo cual provoca conversiones prácticamente completa en el reactor. Esto produce mayores temperaturas a la salida del reactor con menores DQO, ya que la oxidación es prácticamente completa. Por tanto se consigue mantener una  $T_{ER}$  constante con una menor DQO.

Las líneas siguen la misma tendencia (son prácticamente paralelas) ya que para un mismo caudal y una mayor  $T_{ERinicial}$ , son necesarias mayores temperaturas a la salida del reactor, para que la  $T_{ER}$  se mantenga constante mediante el precalentamiento de las corrientes de alimentación de aire y emulsión de taladrina en los intercambiadores de calor. Estas mayores temperaturas se consiguen tratando residuos de una mayor DQO, con el propósito de conseguir una adecuada temperatura de la corriente de salida del reactor, ya que para estas altas temperaturas, se consiguen conversiones prácticamente completas en el reactor, lo cual produce unas temperaturas mayores a la salida del reactor al ser la reacción de oxidación altamente exotérmica.

Por tanto a mayores temperaturas iniciales de entrada en el reactor, mayores serán las DQO a tratar para conseguir que la temperatura a la entrada del reactor se mantenga constante, y sea la adecuada para que la instalación se mantenga en funcionamiento sin ningún aporte externo de energía.

Del mismo modo, para una misma temperatura inicial de reactor, conforme se aumenta el caudal de emulsión de taladrina, el residuo a tratar debe tener una mayor DQO, para lograr una temperatura adecuada a la salida del reactor que nos permita un adecuado precalentamiento de las corrientes de alimentación.

Por tanto se podrían considerar unas condiciones optimas de operación aquellas en las que se pueden tratar la mayor cantidad de residuo posible, de DQO elevada, se obtenga una conversión lo suficientemente alta para que el efluente cumpla la legislación vigente y teniendo en cuenta que la temperaturas a la salida del reactor no sobrepase la temperatura máxima de diseño. ( $T_{\max} < 650^{\circ}\text{C}$ ).

Después del estudio realizado se podría considerar como mejor temperatura de entrada al reactor una temperatura de 673K, ya que esta no es una temperatura muy excesiva , y las temperaturas que se alcanzan a la salida del reactor están dentro de los márgenes de seguridad de la planta piloto.

A esta temperatura el rango de DQO que se puede tratar es más elevado, sin embargo se debe tener en cuenta el grado de conversión en el reactor el cual no es suficiente para llegar a adecuados efluentes que se encuentren dentro de la legislación vigente. Es decir, en dichas condiciones se obtienen conversiones del 87 hasta 99, por lo que los efluentes tendrían una DQO entre  $9,88\text{gO}_2\text{DQO/l}$  y  $0,6588\text{gO}_2\text{DQO/l}$ . Los valores que cumplirían el requisito marcado por la legislación que obliga a una DQO menor de  $1750\text{ mgO}_2\text{/L}$ , son obtenidos para bajos caudales de residuos los cuales no resultan rentables, por lo que no son apropiados como óptimos de operación

Por tanto, se pueden considerar como condiciones óptimas de operación, el tratamiento de una corriente de residuo de DQO igual a

77,26gO<sub>2</sub>DQO/l, con una temperatura de entrada al reactor de 748K, un caudal de residuo por debajo del caudal máximo de la bomba de  $6 \times 10^{-3}$  kg/s para evitar el sobreesfuerzo de está, un caudal de oxidante igual a  $2,87 \times 10^{-3}$  kg/s.

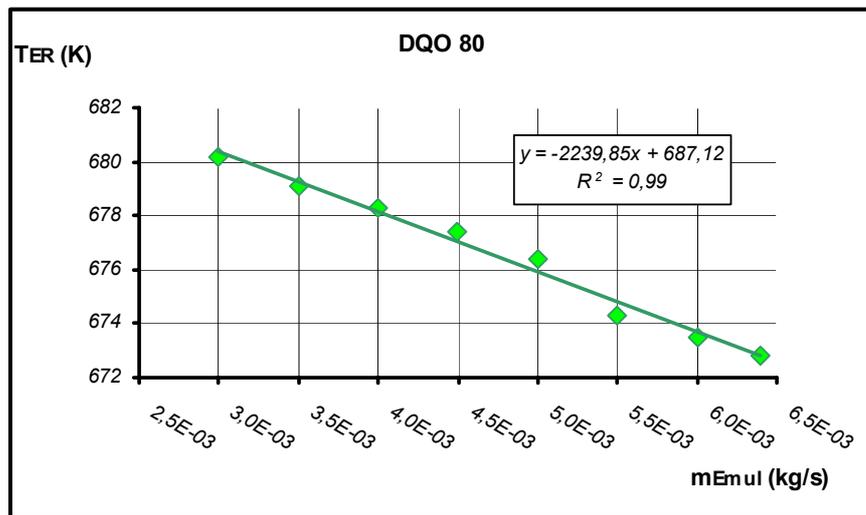
Con estas condiciones de operación, la conversión a la salida del reactor es completa, y la temperatura que se obtienen tras la reacción de oxidación en el reactor están dentro del margen de seguridad de la planta piloto. ( $T=600^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}}=650^{\circ}\text{C}$ )

Es posible tratar corrientes de mayor DQO, empleando temperaturas de entrada al reactor mayores. Sin embargo, estas condiciones de operación no son consideradas como optimas ya que producen temperaturas a la salida del reactor cercanas a la máxima permisible, lo cual puede resultar peligroso para la integridad de la instalación.

**ANEXO I: Gráficas**

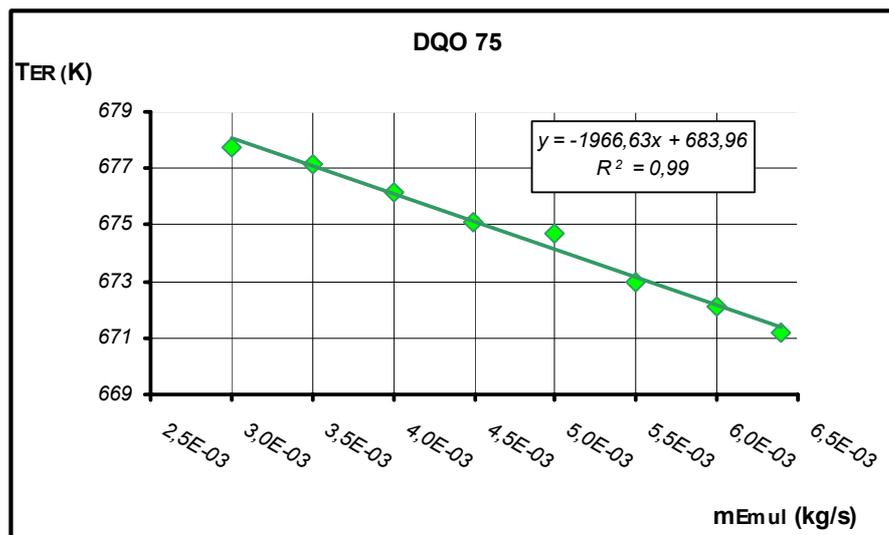
- $T_{ERinicial}=673K$

DQO=80gO<sub>2</sub>DQO/l

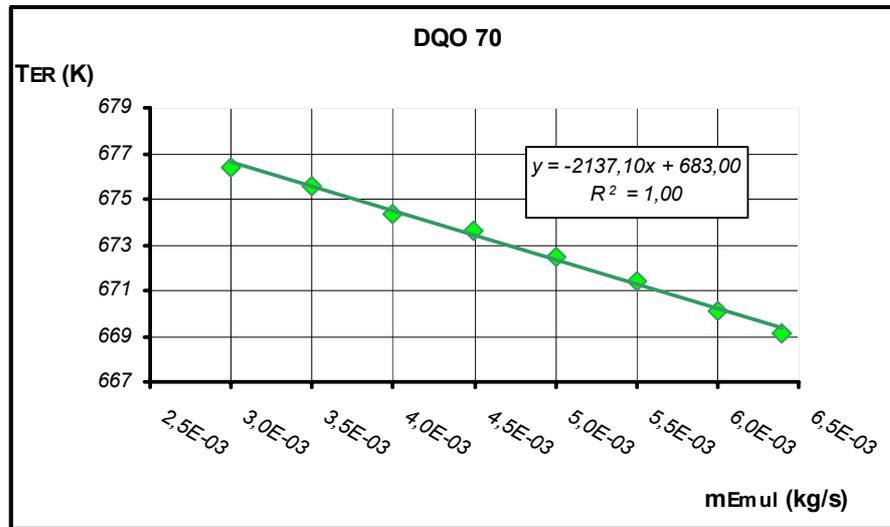


**Gráfica 9.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 80gO<sub>2</sub>DQO/l)

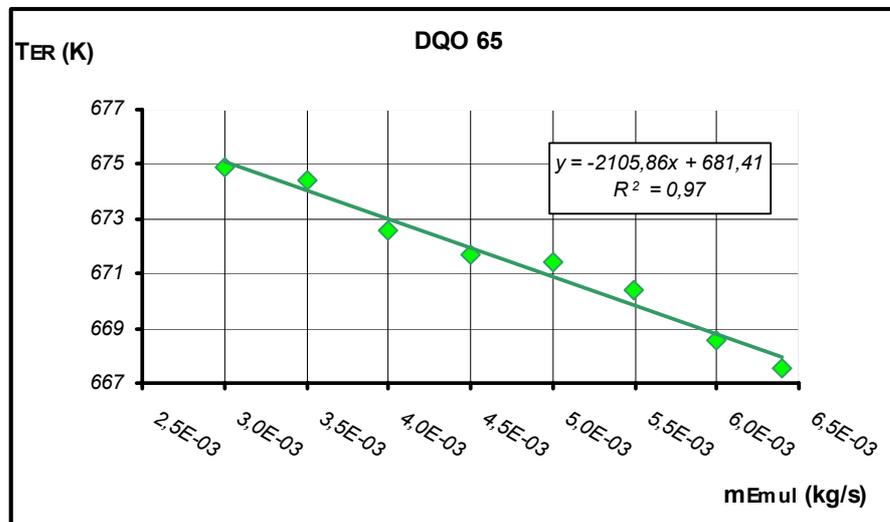
DQO=75gO<sub>2</sub>DQO/l



**Gráfica 10.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 75gO<sub>2</sub>DQO/l)

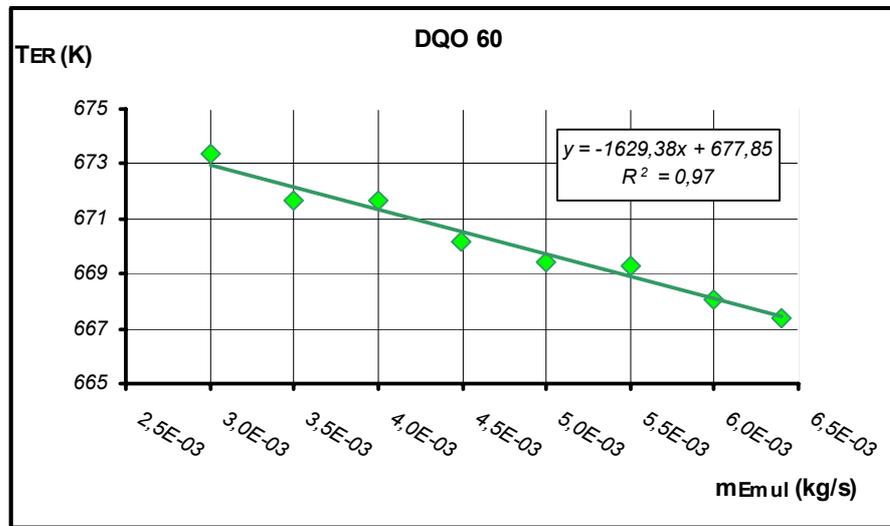
DQO=70gO<sub>2</sub>DQO/l

**Gráfica 11.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 70gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=65gO<sub>2</sub>DQO/l

**Gráfica 12.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 65gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=60gO<sub>2</sub>DQO/l

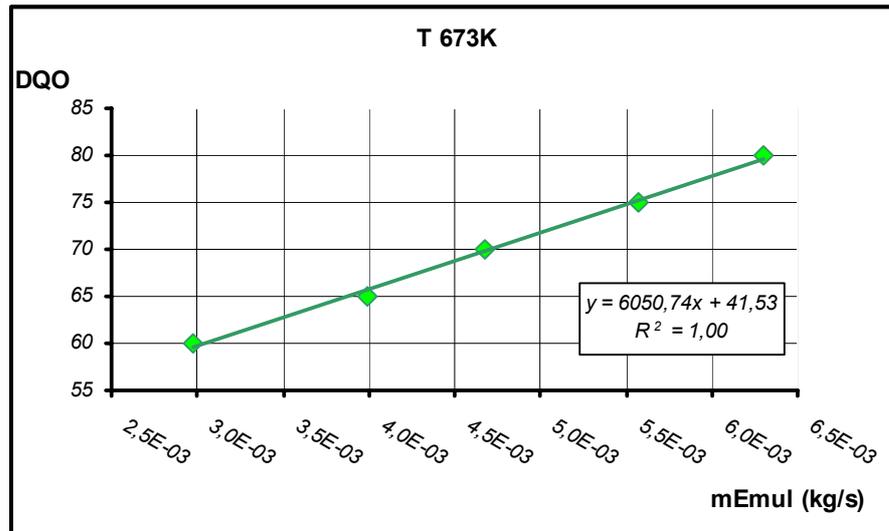


**Gráfica 13.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 60gO<sub>2</sub>DQO/l)

T<sub>ERinicial</sub>=673K

T 673K		
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
80	6,30x10 <sup>-3</sup>	3,12x10 <sup>-3</sup>
75	5,57x10 <sup>-3</sup>	2,59x10 <sup>-3</sup>
70	4,68x10 <sup>-3</sup>	2,03x10 <sup>-3</sup>
65	3,99x10 <sup>-3</sup>	1,61x10 <sup>-3</sup>
60	2,98x10 <sup>-3</sup>	1,11x10 <sup>-3</sup>

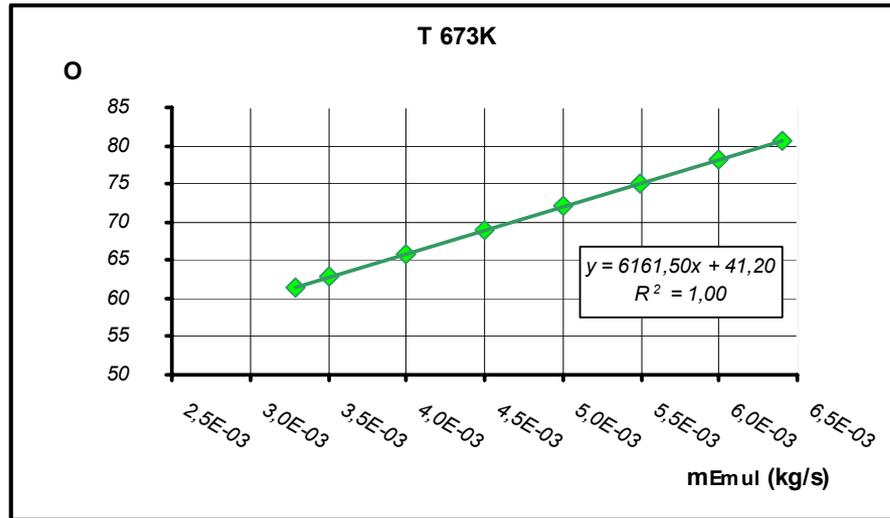
**Tabla 8.** Condiciones de operación para T<sub>ER</sub>=673K



**Gráfica 14.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=673K$ )

T 673K			
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
80,63	$6,40 \times 10^{-3}$	$3,19 \times 10^{-3}$	87,74
78,17	$6,00 \times 10^{-3}$	$2,90 \times 10^{-3}$	89,75
75,08	$5,50 \times 10^{-3}$	$2,56 \times 10^{-3}$	92,09
72,00	$5,00 \times 10^{-3}$	$2,23 \times 10^{-3}$	94,18
68,92	$4,50 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-3}$	95,99
65,84	$4,00 \times 10^{-3}$	$1,63 \times 10^{-3}$	97,46
62,76	$3,50 \times 10^{-3}$	$1,36 \times 10^{-3}$	98,58
61,47	$3,29 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-3}$	98,94

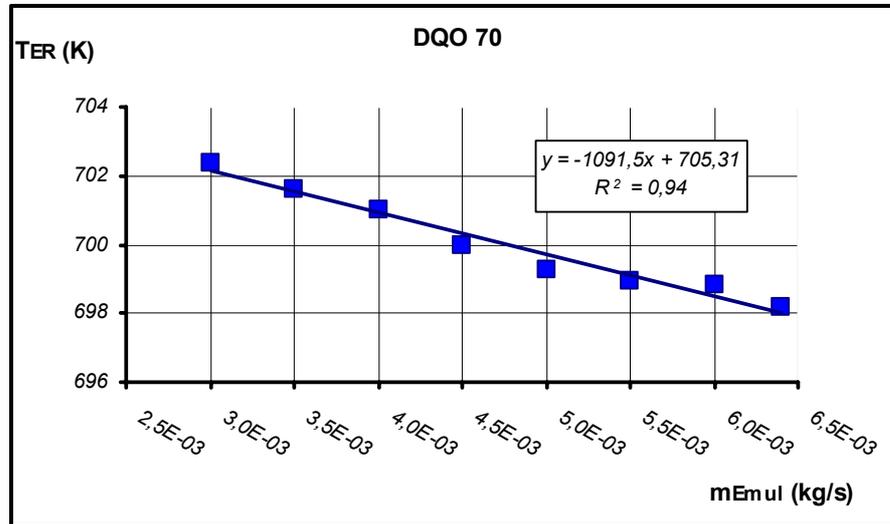
**Tabla 9.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=673K$ , dentro de los límites de la planta piloto.



**Gráfica 15.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=673K$ ). Dentro de las limitaciones de la planta piloto.

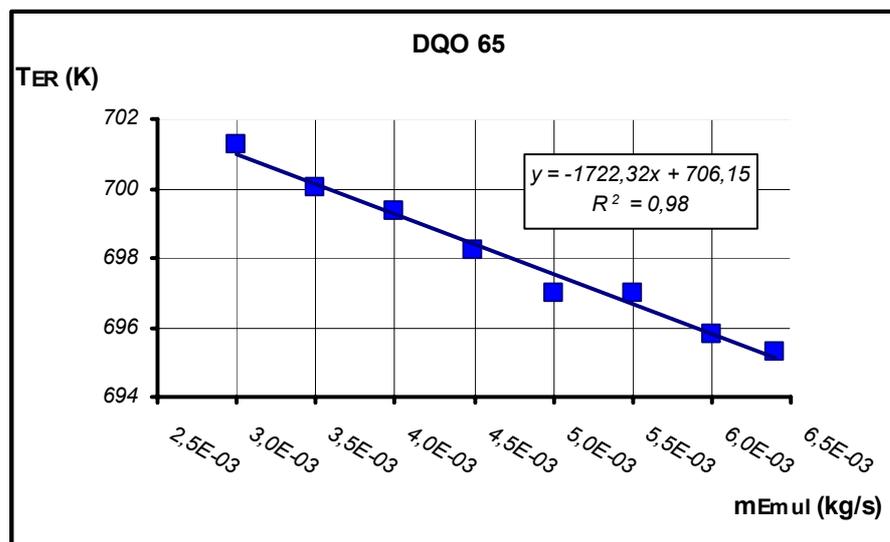
- $T_{ERinicial}=698K$

DQO=70gO<sub>2</sub>DQO/l



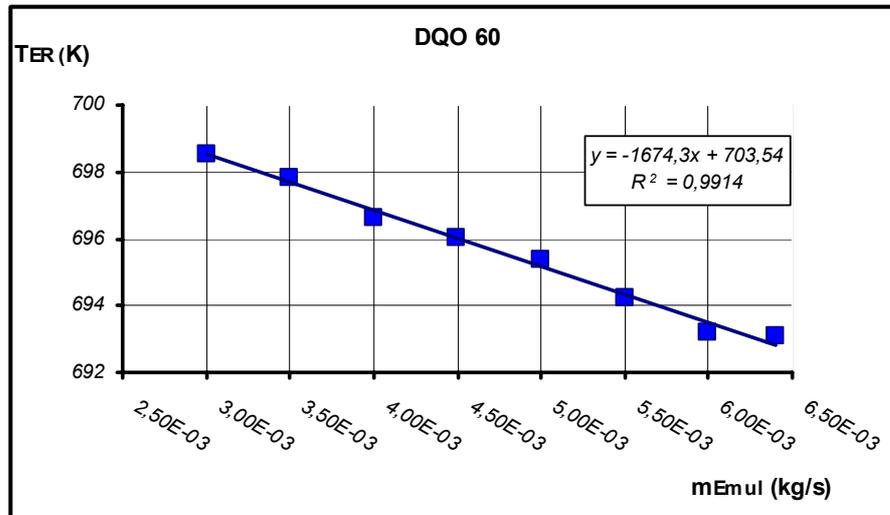
**Gráfica 16.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 70gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=65gO<sub>2</sub>DQO/l



**Gráfica 17.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 65gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=60gO<sub>2</sub>DQO/l

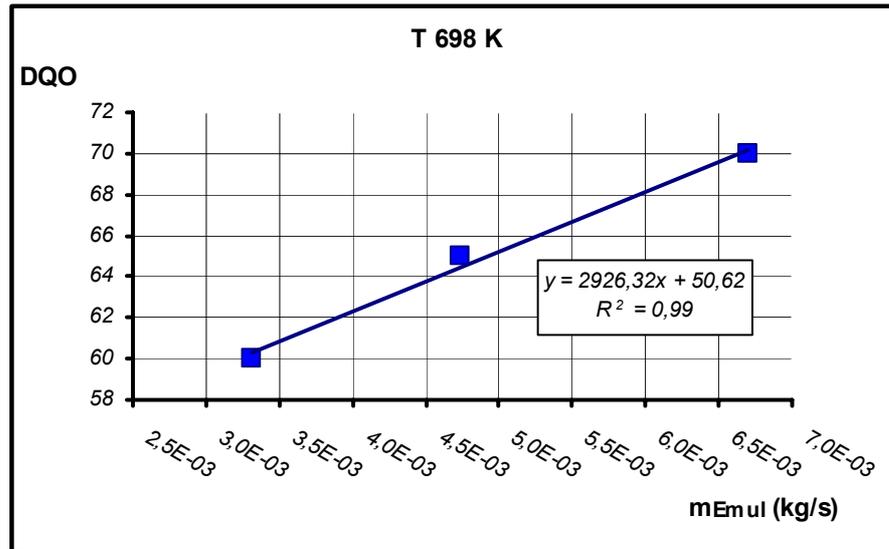


**Gráfica 18.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación.(para una DQO de 60gO<sub>2</sub>DQO/l)

T<sub>ERinicial</sub>=698K

T 698K		
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
60	3,3x10 <sup>-3</sup>	1,23x10 <sup>-3</sup>
65	4,7x10 <sup>-3</sup>	1,90x10 <sup>-3</sup>
70	6,7x10 <sup>-3</sup>	2,90x10 <sup>-3</sup>

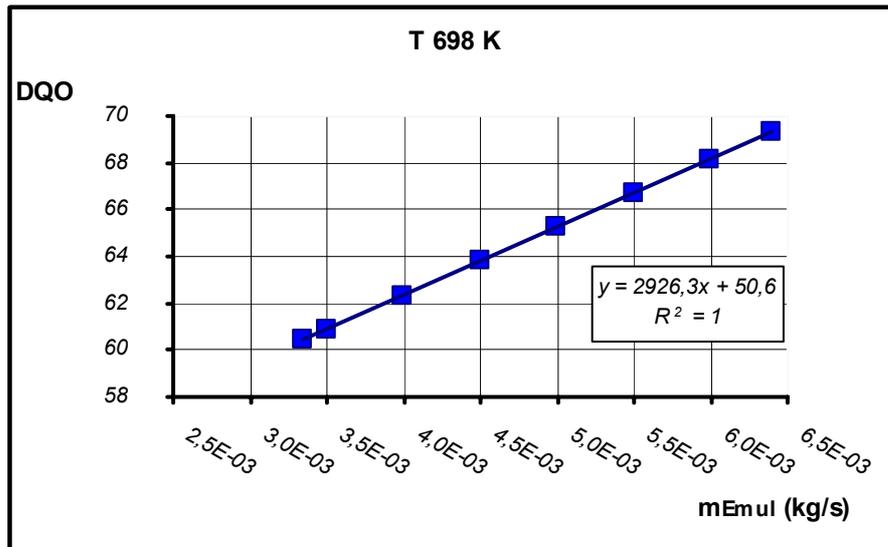
**Tabla 10.** Condiciones de operación para T<sub>ER</sub>=698K



**Gráfica 19.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=698K$ )

T 698 K			
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
69,4	$6,4 \times 10^{-3}$	$2,75 \times 10^{-3}$	98,83
68,2	$6,0 \times 10^{-3}$	$2,53 \times 10^{-3}$	99,17
66,7	$5,5 \times 10^{-3}$	$2,27 \times 10^{-3}$	99,50
65,3	$5,0 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-3}$	99,72
63,8	$4,5 \times 10^{-3}$	$1,78 \times 10^{-3}$	99,86
62,3	$4,0 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-3}$	99,94
60,9	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-3}$	99,98
60,4	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-3}$	99,99

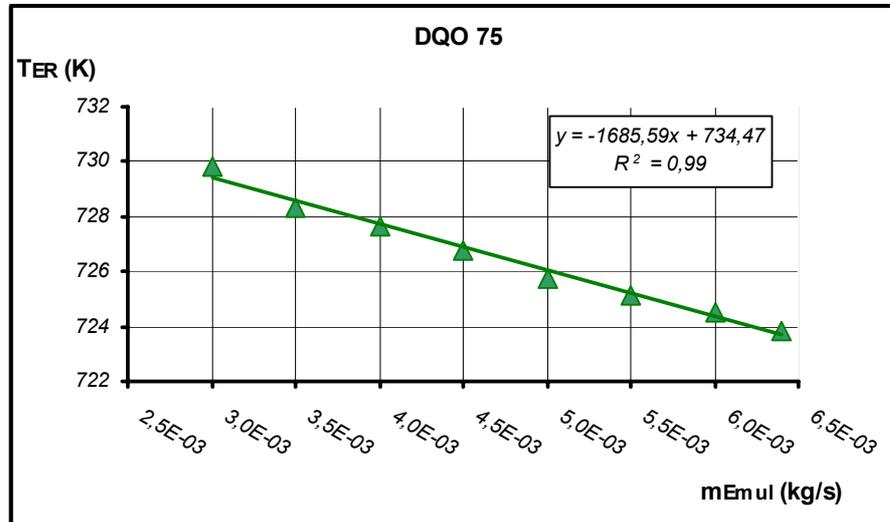
**Tabla 11.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=698K$ , dentro de los límites de la planta piloto.



**Gráfica 20.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=698K$ ). Dentro de las limitaciones de la planta piloto.

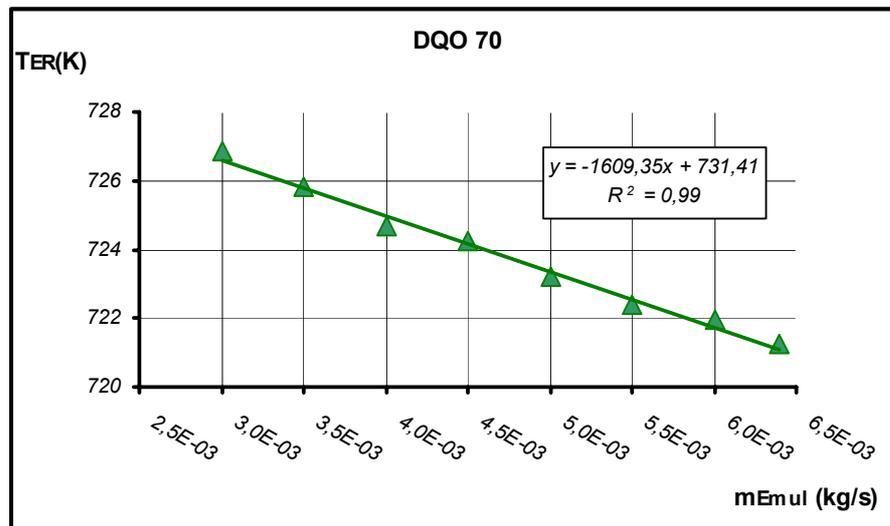
- $T_{ERinicial}=723K$

DQO=75gO<sub>2</sub>DQO/l

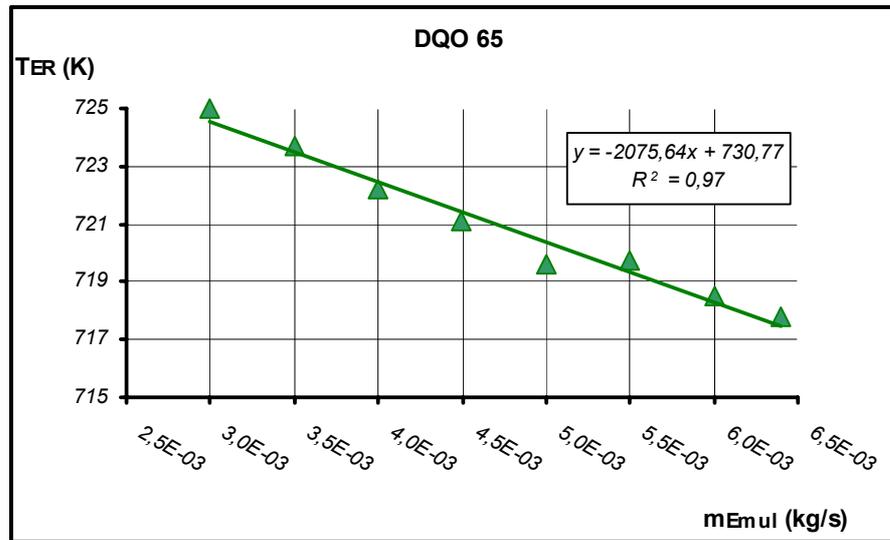


**Gráfica 21.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 75gO<sub>2</sub>DQO/l)

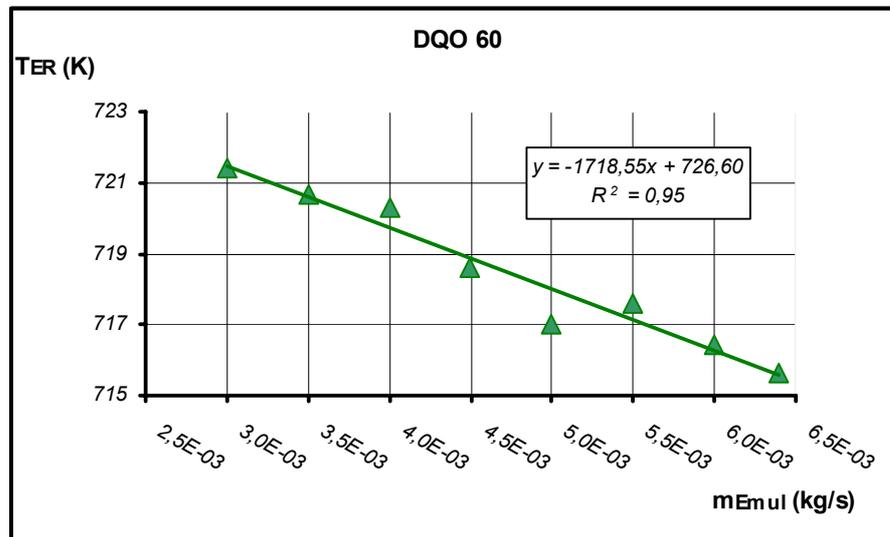
DQO=70gO<sub>2</sub>DQO/l



**Gráfica 22.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 70gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=65gO<sub>2</sub>DQO/l

**Gráfica 23.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 65gO<sub>2</sub>DQO/l)

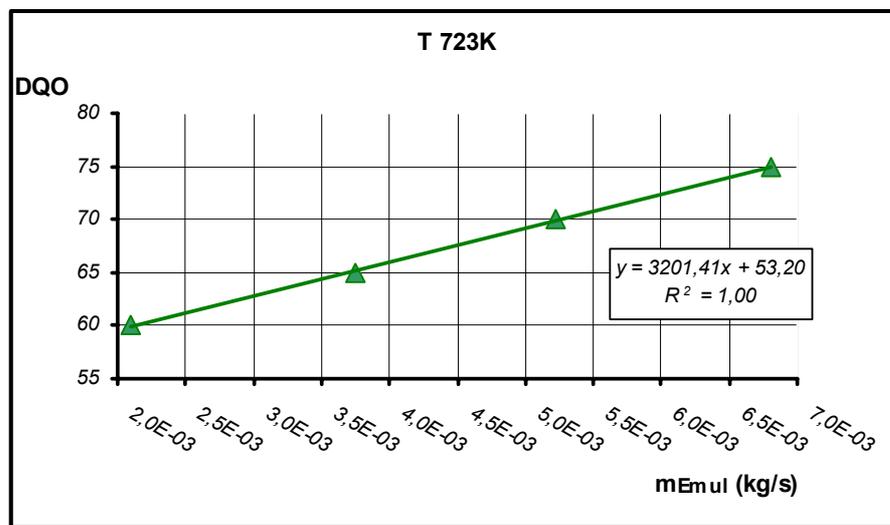
DQO=60gO<sub>2</sub>DQO/l

**Gráfica 24.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 60gO<sub>2</sub>DQO/l)

$T_{ERinicial}=723K$

T 723K		
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
60	$2,10 \times 10^{-3}$	$7,7 \times 10^{-4}$
65	$3,74 \times 10^{-3}$	$1,51 \times 10^{-3}$
70	$5,22 \times 10^{-3}$	$2,26 \times 10^{-3}$
75	$6,80 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-3}$

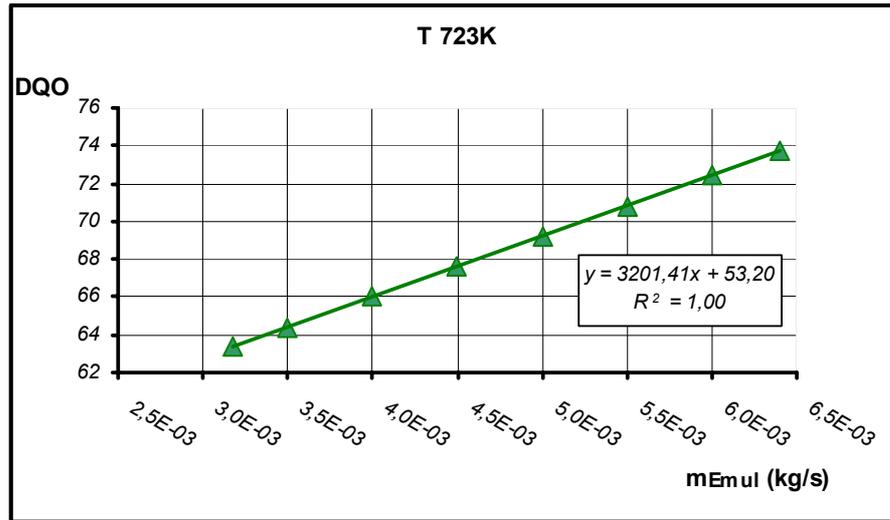
**Tabla 12.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=723K$



**Gráfica 25.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=723K$ )

T 723			
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
73,7	$6,40 \times 10^{-3}$	$2,92 \times 10^{-3}$	99,98
72,4	$6,00 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$	99,99
70,8	$5,50 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-3}$	100,00
69,2	$5,00 \times 10^{-3}$	$2,14 \times 10^{-3}$	100,00
67,6	$4,50 \times 10^{-3}$	$1,88 \times 10^{-3}$	100,00
66,0	$4,00 \times 10^{-3}$	$1,63 \times 10^{-3}$	100,00
64,4	$3,50 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$	100,00
63,4	$3,18 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-3}$	100,00

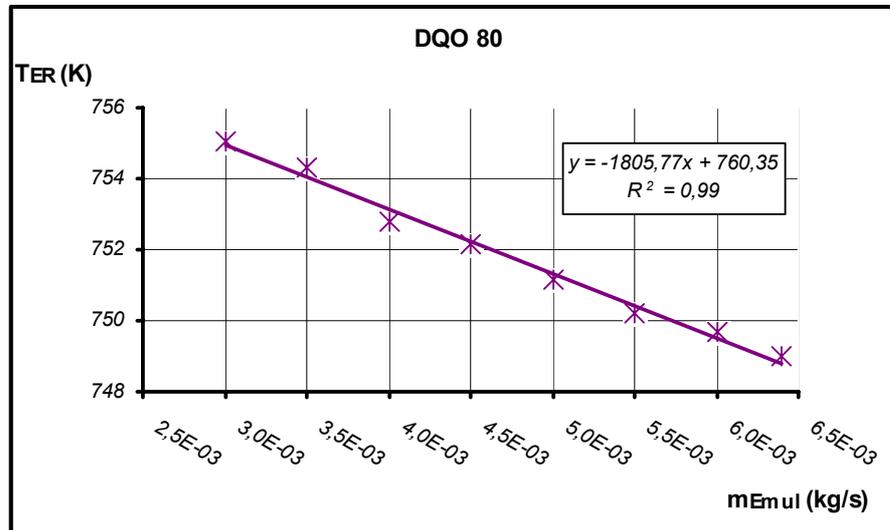
**Tabla 13.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=723K$ , dentro de los límites de la planta piloto



**Gráfica 26.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=723K$ ). Dentro de las limitaciones de la planta piloto.

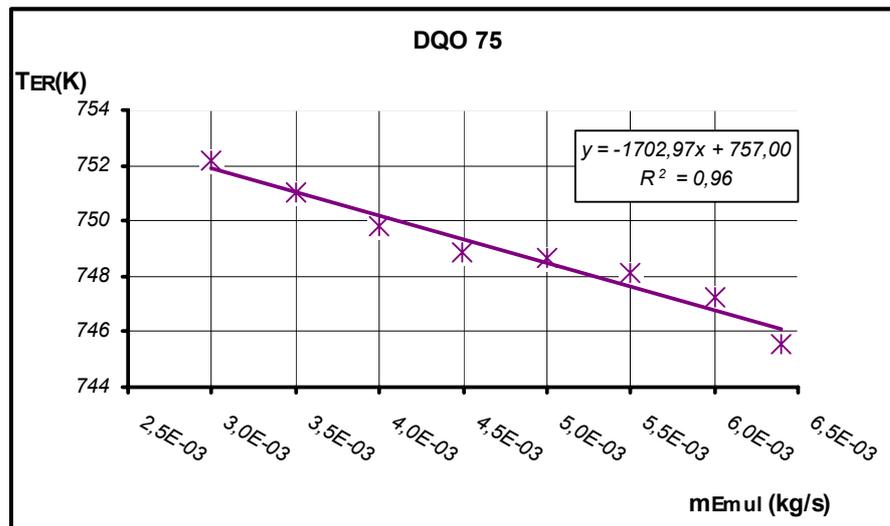
- $T_{ERinicial}=748K$

DQO=80gO<sub>2</sub>DQO/l



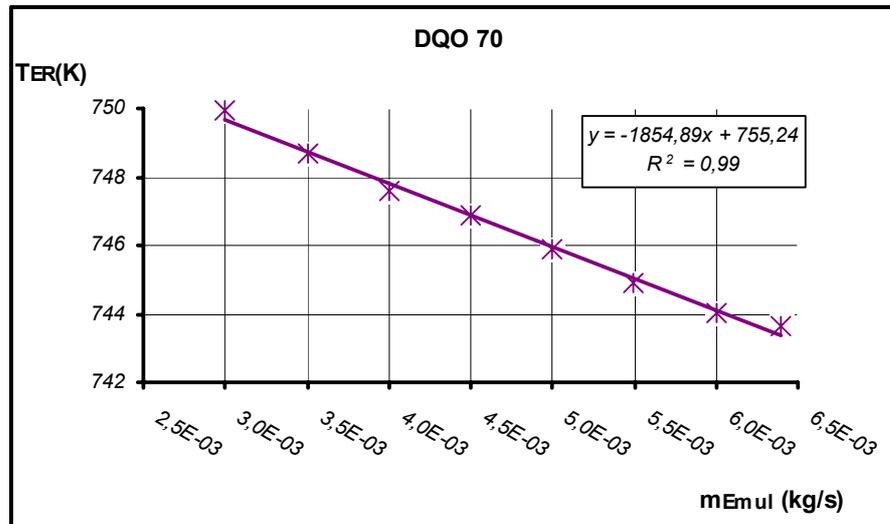
**Gráfica 27.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 80gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=75gO<sub>2</sub>DQO/l



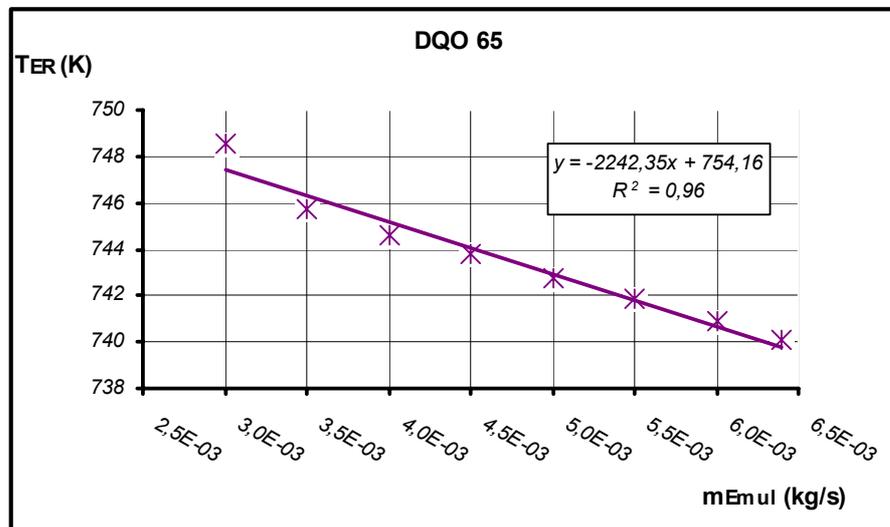
**Gráfica 28.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 75gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=70gO<sub>2</sub>DQO/l



**Gráfica 29.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 70gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=65gO<sub>2</sub>DQO/l

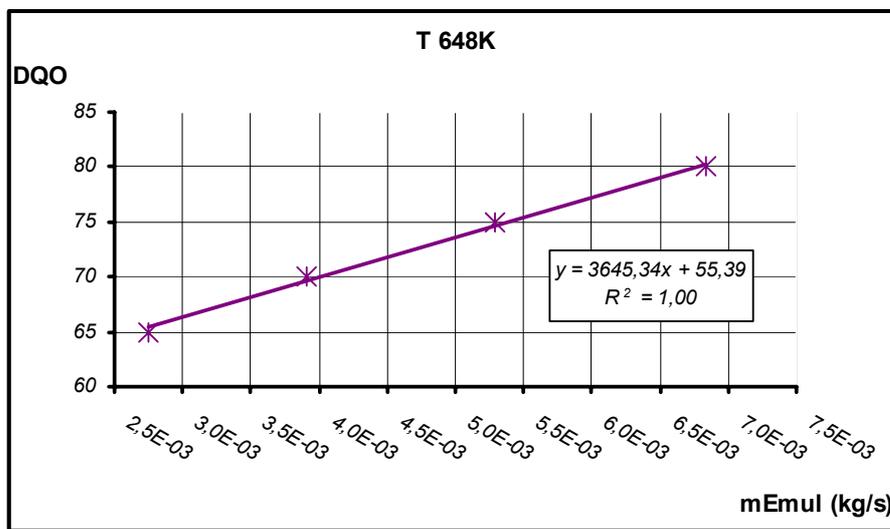


**Gráfica 30.** Estimación de la T<sub>ER</sub> para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 65gO<sub>2</sub>DQO/l)

$T_{ERinicial}=748K$

T 748		
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
65	$2,75 \times 10^{-3}$	$1,10 \times 10^{-3}$
70	$3,90 \times 10^{-3}$	$1,69 \times 10^{-3}$
75	$5,28 \times 10^{-3}$	$2,45 \times 10^{-3}$
80	$6,84 \times 10^{-3}$	$3,39 \times 10^{-3}$

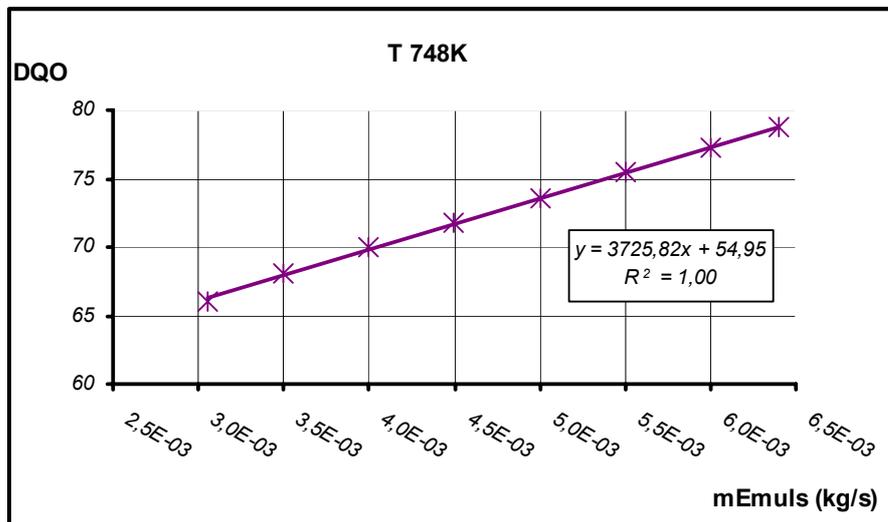
**Tabla 14.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=748K$



**Gráfica 31.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=748K$ )

T 748			
DQO(gO <sub>2</sub> /l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
78,72	6,40x10 <sup>-3</sup>	3,12x10 <sup>-3</sup>	100,00
77,26	6,00x10 <sup>-3</sup>	2,87x10 <sup>-3</sup>	100,00
75,44	5,50x10 <sup>-3</sup>	2,57x10 <sup>-3</sup>	100,00
73,62	5,00x10 <sup>-3</sup>	2,28x10 <sup>-3</sup>	100,00
71,79	4,50x10 <sup>-3</sup>	2,00x10 <sup>-3</sup>	100,00
69,97	4,00x10 <sup>-3</sup>	1,73x10 <sup>-3</sup>	100,00
68,15	3,50x10 <sup>-3</sup>	1,48x10 <sup>-3</sup>	100,00
66,03	3,05x10 <sup>-3</sup>	1,25x10 <sup>-3</sup>	100,00

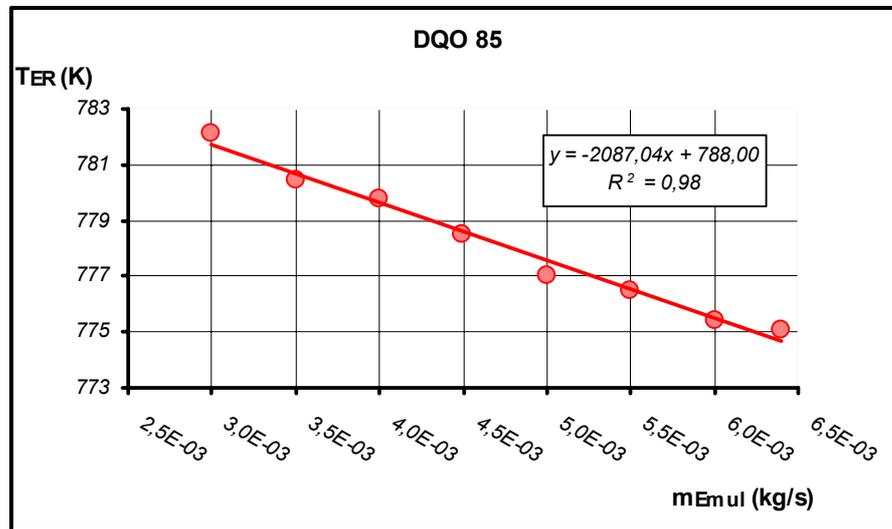
**Tabla 15.** Condiciones de operación para T<sub>ER</sub>=748K, dentro de los límites de la planta piloto



**Gráfica 32.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para T<sub>ER</sub>=748K). Dentro de las limitaciones de la planta piloto.

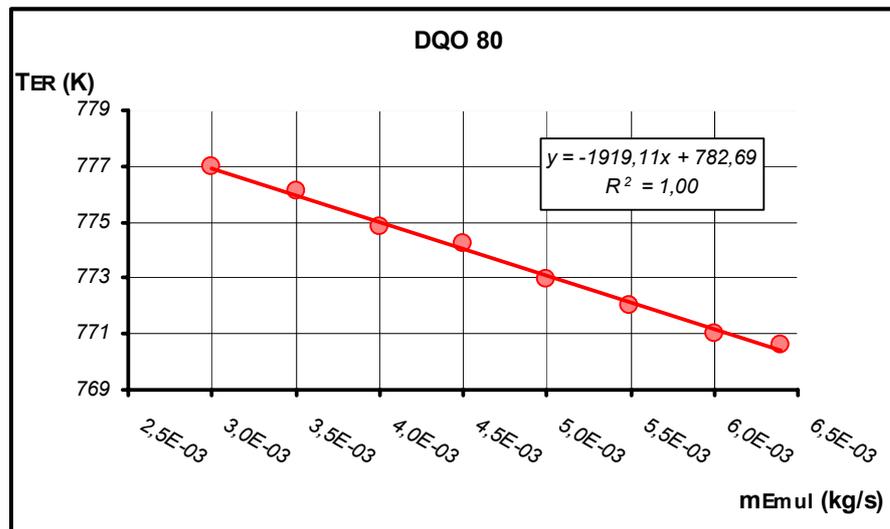
- $T_{ERinicial}=773K$

DQO=85gO<sub>2</sub>DQO/l



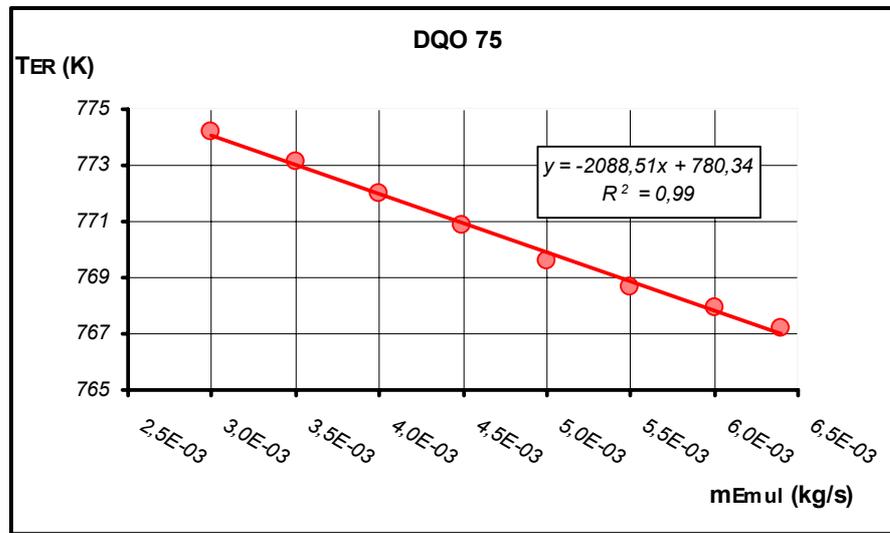
**Gráfica 33.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 85gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=80gO<sub>2</sub>DQO/l



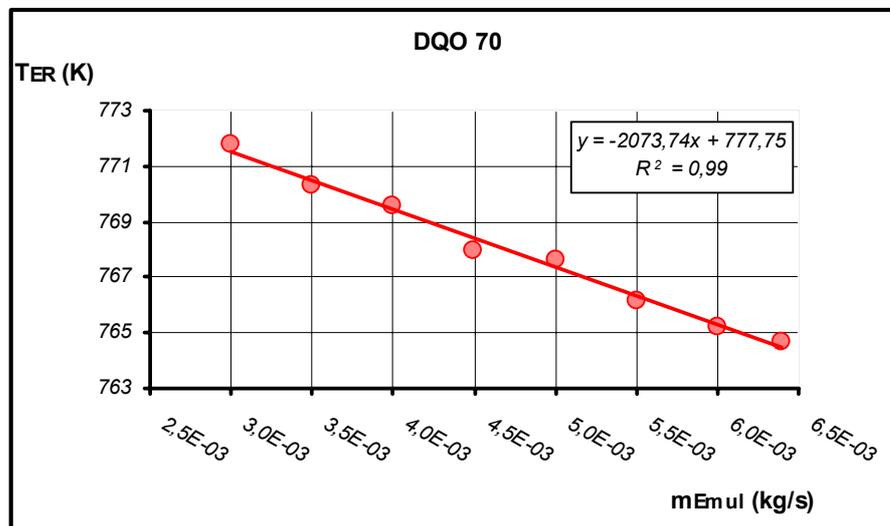
**Gráfica 34.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación. Para una DQO de 80gO<sub>2</sub>DQO/l

DQO=75gO<sub>2</sub>DQO/l



**Gráfica 35.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 75gO<sub>2</sub>DQO/l)

DQO=70gO<sub>2</sub>DQO/l

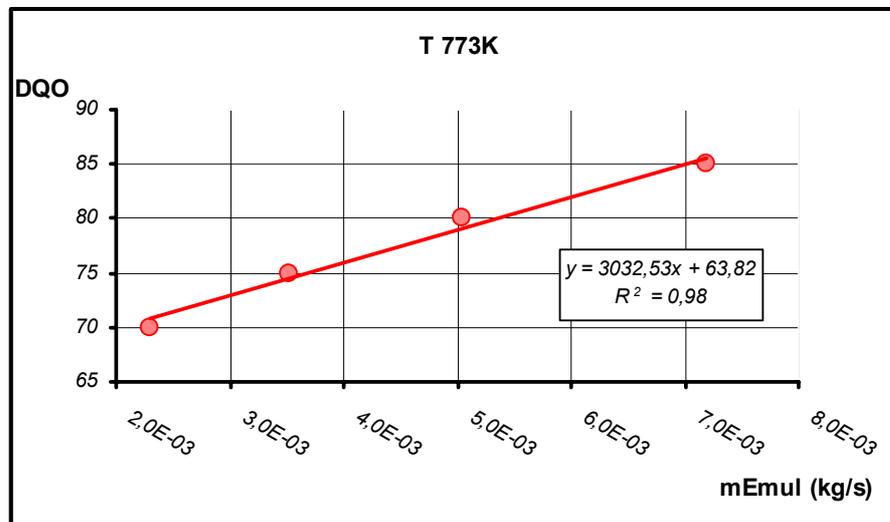


**Gráfica 36.** Estimación de la  $T_{ER}$  para distintos caudales de alimentación (para una DQO de 70gO<sub>2</sub>DQO/l)

$T_{ERinicial}=773K$

T 773K		
DQO(gO <sub>2</sub> DQO/l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)
70	$2,3 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-4}$
75	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$
80	$5,0 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$
85	$7,2 \times 10^{-3}$	$3,8 \times 10^{-3}$

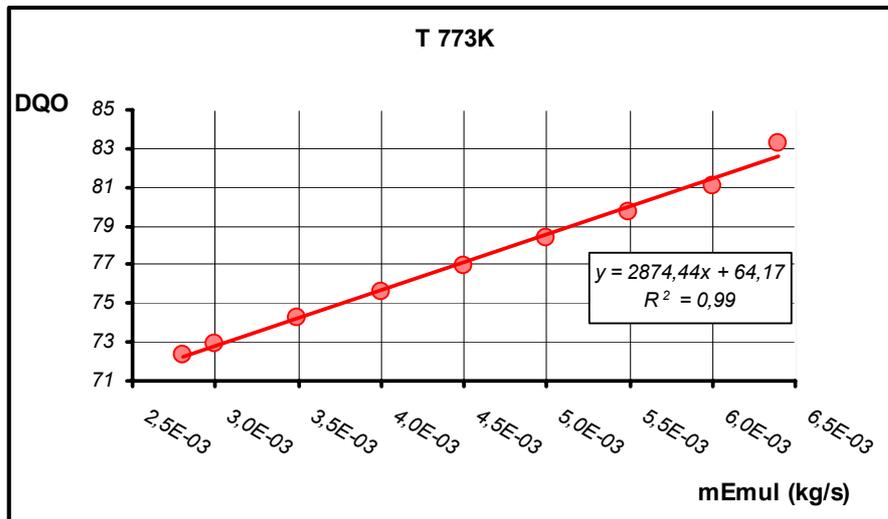
**Tabla 16.** Condiciones de operación para  $T_{ER}=773K$



**Gráfica 37.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para  $T_{ER}=773K$ )

T 773K			
DQO(gO <sub>2</sub> /l)	mEmul (kg/s)	mAire (kg/s)	Conversión
83,2	6,40x10 <sup>-3</sup>	3,30x10 <sup>-3</sup>	100,00
81,1	6,00x10 <sup>-3</sup>	3,01x10 <sup>-3</sup>	100,00
79,7	5,50x10 <sup>-3</sup>	2,71x10 <sup>-3</sup>	100,00
78,3	5,00x10 <sup>-3</sup>	2,43x10 <sup>-3</sup>	100,00
77,0	4,50x10 <sup>-3</sup>	2,14x10 <sup>-3</sup>	100,00
75,6	4,00x10 <sup>-3</sup>	1,87x10 <sup>-3</sup>	100,00
74,3	3,50x10 <sup>-3</sup>	1,61x10 <sup>-3</sup>	100,00
72,9	3,00x10 <sup>-3</sup>	1,35x10 <sup>-3</sup>	100,00
72,4	2,80x10 <sup>-3</sup>	1,25x10 <sup>-3</sup>	100,00

**Tabla 17.** Condiciones de operación para T<sub>ER</sub>=773K, dentro de los límites de la planta piloto



**Gráfica 38.** Estimación de las condiciones de operación para régimen autotérmico (para T<sub>ER</sub>=773K). Dentro de las limitaciones de la planta piloto.

**LISTA DE NOMENCLATURA:**

***k***: Coeficiente cinético ( $s^{-1}$ )

***A***: Factor de frecuencia ( $s^{-1}$ )

***E<sub>a</sub>***: Energía de activación (J/mol)

***R***: Constante para los gases ideales (J/mol·K)

***T***: Temperatura (K)

***F<sub>Ao</sub>***= caudal de A inicial.  $\left(\frac{gO_2 DQO}{l}\right)$

***F<sub>Ae</sub>***= caudal de reactivo A a la entrada.  $\left(\frac{gO_2 DQO}{l}\right)$

***X<sub>A</sub>***= Conversión

***Q<sub>o</sub>***= caudal volumetrico inicial (l/s)

***C<sub>Ao</sub>***= concentración inicial del reactivo A (g/l)

***τ***=Tiempo espacial (s)

***m<sub>E Emul</sub>*** = Flujo másico de entrada de emulsión al intercambiador I<sub>1</sub>.  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>S Emul</sub>*** = Flujo másico de salida de emulsión del intercambiador I<sub>1</sub>.  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>E Aire</sub>*** = Flujo másico de entrada de aire al intercambiador I<sub>2</sub>.  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>S Aire</sub>*** = Flujo másico de salida de aire del intercambiador I<sub>2</sub>.  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>E I1</sub>*** = Flujo másico de entrada del efluente se salida del reactor (corriente caliente) al intercambiador I<sub>1</sub>.  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>S I1</sub>*** = Flujo másico de salida de la corriente caliente del intercambiador I<sub>1</sub>.  
 $\left(\frac{kg}{s}\right)$

***m<sub>E I2</sub>*** = Flujo másico de entrada de la corriente caliente al intercambiador I<sub>2</sub>.  
 $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$m_{SI2}$  = Flujo másico de salida de la corriente caliente del intercambiador 1<sub>2</sub>.

$$\left( \frac{kg}{s} \right)$$

$m_{ER}$  = Flujo másico de entrada de alimentación al reactor.

$T_R$  = Temperatura de referencia (K)

$\Delta Hr$  = Entalpia de reacción  $\left( \frac{kJ}{gO_2DQO} \right)$

$F_i$  = Flujo másico de la alimentación, emulsión + aire,  $\left( \frac{kg}{s} \right)$

$Cp_i$  = Calor específico de la alimentación  $\left( \frac{kJ}{kgK} \right)$

$T_{EEmul}$  = Temperatura de entrada de emulsión al intercambiador 1. (K)

$T_{SEmul}$  = Temperatura de salida de emulsión del intercambiador 1. (K)

$T_{EI1}$  = Temperatura de entrada del efluente de salida del reactor al intercambiador 1. (K)

$T_{SI1}$  = Temperatura de salida del efluente de salida del reactor del intercambiador 1. (K)

$U_{I1}$  = Coeficiente global de transmisión de calor para el intercambiador 1.  
 $\left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$

$A_{I1}$  = Area de intercambio del intercambiador 1. ( $m^2$ )

$\Delta T_{ml1}$  = Incremento de temperatura medio logarítmico para el intercambiador 1.

$T_{EAire}$  = Temperatura de entrada del aire al intercambiador 2.

$T_{SAire}$  = Temperatura de salida del aire del intercambiador 2.

$T_{EI2} = T_{SI1}$  = Temperatura de entrada del efluente de salida del reactor al intercambiador 2.

$T_{SI2}$  = Temperatura de salida del efluente de salida del reactor del intercambiador 2.

$u_{12}$  = Coeficiente global de transmisión de calor para el intercambiador 2.  
 $(W/m^2 \cdot K)$

$A_{12}$  = Area de intercambio del intercambiador 2.  $(m^2)$

$\Delta T_{ml2}$  = Incremento de temperatura medio logarítmico del intercambiador 2.

$h_i$ : coeficiente individual de transmisión de calor de la corriente que circula por el tubo interior del intercambiador.  $(W/m^2 \cdot K)$ .

$h_e$ : coeficiente individual de transmisión de calor de la corriente que circula por el tubo exterior del intercambiador.  $(W/m^2 \cdot K)$ .

$k$ : conductividad térmica de los tubos.  $(W/m \cdot K)$ .

$r_i$ : radio interno de la conducción interna.  $(m)$

$r_e$ : radio externo de la conducción interna  $(m)$

$h$ : coeficiente individual de transmisión de calor  $(W/m^2 \cdot K)$

$d$ : diámetro característico  $(m)$

$k$ : conductividad térmica del fluido  $(W/m \cdot K)$

$\rho$ : densidad del fluido  $(kg/m^3)$

$v$ : velocidad de circulación del fluido  $(m/s)$

$\mu$ : viscosidad del fluido  $(Pa \cdot s)$

$C_p$ : calor específico del fluido  $(kJ/kg \cdot K)$

$T_{ER}$  = Temperatura de entrada al reactor  $(K)$

$\varepsilon$  = Efectividad

$C_c$  = Capacidad calorífica del fluido caliente  $(kJ/s \cdot K)$

$C_f$  = Capacidad calorífica del fluido frío  $(kJ/s \cdot K)$

$C_{min}$  = Capacidad calorífica mínima  $(kJ/s \cdot K)$

$C_{max}$  = **Capacidad calorífica máxima  $(kJ/s \cdot K)$**

**NUT** = Numero de unidades de transferencia

# **PLIEGOS DE CONDICIONES**

# **PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES**

## **5. Pliego General de Condiciones**

### **ÍNDICE:**

<b>5.1 Condiciones de tipo general</b>	<b>124</b>
<b>5.1.1. Objeto de este pliego.</b>	<b>124</b>
<b>5.1.2. Proyecto.</b>	<b>124</b>
<b>5.1.3. Documentación complementaria.</b>	<b>126</b>
<b>5.1.4. Descripción general de la obra.</b>	<b>126</b>
<b>5.1.5. Condiciones generales de índole legal.</b>	<b>126</b>
<b>5.1.6. Adjudicación.</b>	<b>128</b>
<b>5.1.6.1. Concurso</b>	<b>128</b>
<b>5.1.6.2. Retirada de documentación de concurso</b>	<b>128</b>
<b>5.1.6.3. Aclaraciones a los licitadores</b>	<b>128</b>
<b>5.1.6.4. Presentación de la documentación de la oferta</b>	<b>129</b>
<b>5.1.6.5. Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar</b>	<b>132</b>
<b>5.1.6.6. Validez de las ofertas</b>	<b>133</b>
<b>5.1.6.7. Contradicciones y omisiones en la documentación</b>	<b>133</b>
<b>5.1.6.8. Planos provisionales y definitivos</b>	<b>134</b>
<b>5.1.6.9. Adjudicación del concurso</b>	<b>134</b>
<b>5.1.6.10. Devolución de planos y documentación</b>	<b>135</b>
<b>5.1.6.11. Permisos a obtener por la empresa</b>	<b>136</b>
<b>5.1.6.12. Permisos a obtener por el contratista</b>	<b>138</b>
<b>5.1.7. De los materiales y sus aparatos, su procedencia</b>	<b>139</b>
<b>5.1.8. Plazo de comienzo y de ejecución</b>	<b>140</b>
<b>5.1.9. Sanciones por retraso de las obras</b>	<b>140</b>
<b>5.1.10. Obras de reforma y mejora.</b>	<b>140</b>
<b>5.1.11. Trabajos defectuosos.</b>	<b>141</b>
<b>5.1.12. Vicios ocultos</b>	<b>142</b>
<b>5.1.13. Recepción provisional de las obras</b>	<b>142</b>

<b>5.1.14. Medición definitiva de los trabajos.</b>	<b>143</b>
<b>5.1.15. Plazo de garantía.</b>	<b>143</b>
<b>5.1.16. Conservación de las obras recibidas provisionalmente.</b>	<b>144</b>
<b>5.1.17. Recepción definitiva</b>	<b>144</b>
<b>5.1.18. Dirección de obra</b>	<b>145</b>
<b>5.1.19. Obligaciones de la contrata</b>	<b>145</b>
<b>5.1.20. Responsabilidades de la contrata</b>	<b>147</b>
<b>5.1.21. Obras ocultas.</b>	<b>148</b>
<b>5.1.22. Seguridad e higiene en el trabajo.</b>	<b>148</b>
<b>5.2. Desarrollo del contrato, condiciones económicas y legales</b>	<b>149</b>
<b>5.2.1. Contrato.</b>	<b>149</b>
<b>5.2.2. Gastos e impuestos.</b>	<b>150</b>
<b>5.2.3. Finanzas provisional, definitiva y fondo de garantía.</b>	<b>150</b>
<b>5.2.4. Asociación de constructores</b>	<b>152</b>
<b>5.2.5. Subcontratistas.</b>	<b>153</b>
<b>5.2.6. Relaciones entre la empresa y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas</b>	<b>154</b>
<b>5.2.7. Domicilios y representaciones.</b>	<b>155</b>
<b>5.2.8. Gastos de carácter general por cuenta del contratista.</b>	<b>156</b>
<b>5.2.9. Gastos de carácter general por cuenta de la empresa</b>	<b>158</b>
<b>5.2.10. Indemnizaciones por cuenta del contratista</b>	<b>158</b>
<b>5.2.11. Partidas para obras accesorias</b>	<b>158</b>
<b>5.2.12. Partidas alzadas</b>	<b>159</b>
<b>5.2.13. Revisión de precios</b>	<b>159</b>
<b>5.2.14. Régimen de intervención</b>	<b>160</b>
<b>5.2.15. Rescisión del contrato</b>	<b>161</b>
<b>5.2.16. Propiedad industrial y comercial</b>	<b>165</b>
<b>5.2.17. Disposiciones legales</b>	<b>165</b>

<b>5.2.18. Tribunales</b>	<b>166</b>
<b>5.3. Condiciones técnicas que han de cumplir los materiales</b>	<b>166</b>
<b>5.4. Condiciones técnicas que ha de cumplir la ejecución</b>	<b>167</b>
<b>5.5 Especificaciones sobre el control de calidad</b>	<b>168</b>
<b>5.6. Medición, valoración y abono de las unidades de obra</b>	<b>169</b>
<b>5.6.1. Tuberías en general</b>	<b>170</b>
<b>5.6.2. Aislantes</b>	<b>170</b>
<b>5.6.3. Pinturas y barnices</b>	<b>171</b>
<b>5.6.4. Alcance de los precios</b>	<b>171</b>
<b>5.6.5. Relaciones valoradas</b>	<b>172</b>
<b>5.6.6. Obra que tiene derecho a percibir el constructor</b>	<b>172</b>
<b>5.6.7. Pago de las obras.</b>	<b>173</b>

## **5.1. Condiciones de tipo general**

### **5.1.1. Objeto de este pliego.**

El objeto de este Pliego es la enumeración de las Condiciones de tipo General, Técnico, de Control y de Ejecución a las que se han de ajustar las distintas unidades de obra, para la construcción del la planta piloto objeto de estudio en el presente proyecto.

Este Pliego se complementa con las especificaciones técnicas incluidas en la memoria descriptiva correspondientes a las estructuras e instalaciones generales de la planta piloto.

Además, el presente pliego tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos de obra civil, siempre que expresamente se haga mención de este pliego en los particulares de cada una de las obras.

En este último supuesto, se entiende que el Contratista Adjudicatario de la obra se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego General, a excepción de aquellas que expresamente queden anuladas o modificadas en el Pliego Particular de Condiciones de cada una de las obras.

### **5.1.2. Proyecto.**

En general, el Proyecto podrá comprender los siguientes documentos:

- Una Memoria que considerará las necesidades a satisfacer y los factores de carácter general a tener en cuenta.

- Los Planos de conjunto y detalle necesarios para que la obra quede perfectamente definida.
- Un Estado de Mediciones previstas para las diferentes unidades de obra. En este Estado de Mediciones vendrá diferenciado en dos grupos:

a) Obra Característica

b) Obra Complementaria.

- En el primer capítulo "Obra Característica" se incluirán exclusivamente aquellas unidades de obra que por su identidad, magnitud o importancia económica determinan las características esenciales de la obra a ejecutar. Estas unidades se identificarán en el Estado de Mediciones y en el Presupuesto mediante la letra A agrada al número de la unidad de que se trate.
- En el segundo grupo "Obra Complementaria" se incluirán las unidades restantes que terminan de definir la obra.

Así mismo quedan incluidas en este segundo apartado aquellas unidades que bien porque aún conociendo de antemano su futura necesidad, no se puede definir en proyecto; bien porque hayan sido olvidadas o porque sean imprevisibles, y que se incorporan al proyecto durante la realización de las obras.

- El Pliego Particular de Condiciones Técnicas y Económicas, que incluirá la descripción de las obras e instalaciones, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de los trabajos, así como las bases económicas y legales que regirán en esa obra. Las condiciones de

este Pliego Particular serán preceptivas y prevalecerán sobre las del Pliego General en tanto las modifiquen o contradigan.

- Plazos totales y parciales de ejecución de la obra.

### **5.1.3. Documentación complementaria.**

Además de los documentos integrantes del Proyecto indicados en el Artículo anterior, y del presente Pliego General, serán preceptivas las NORMAS OFICIALES que se especifiquen en el Pliego Particular de Condiciones.

### **5.1.4 Descripción general de la obra.**

Véase Memoria Descriptiva.

### **5.1.5. Condiciones generales de índole legal**

A continuación se recogen las características y condiciones que reunirá la obra y materiales principales en ella empelados.

Las obras a que se refiere a la construcción de la planta piloto objeto de estudio del presente proyecto son de nueva planta en su integridad, no existiendo parte alguna de aprovechamiento de edificaciones anteriores ni en lo referente a unidades de obra ni a ninguno de los materiales que han de entrar a formar parte de la misma. Así pues, serán automáticamente rechazados aquellos elementos que hayan tenido anterior uso.

Una vez adjudicadas las obras, el constructor instalará en el lugar de obra una caseta en la que habrá al menos dos departamentos independientes, destinados a oficina y botiquín. El primero deberá tener al menos un tablero donde poder extenderse los planos, y el segundo estará provisto de todos los elementos precisos para una primera cura de urgencia.

El pago de impuestos o árbitros en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista.

Los documentos de este proyecto, en su conjunto, con los particulares que pudieran establecerse, y las prescripciones señaladas en el Pliego de Condiciones Técnico de la Dirección General de Arquitectura, en Madrid-1948 y actualizado por la Dirección general de Arquitectura, Economía y Técnica de la Construcción en Madrid-1960, así como las Normas Tecnológicas que serán de obligado cumplimiento en su total contenido, cuanto no se oponga a las anteriores, constituyen un contrato que determina y regula las obligaciones y derechos de ambas partes contratantes, los cuales se comprometen a dirimir las divergencias que pudieran surgir hasta su total cumplimiento, por amigables componedores, preferentemente por el Ingeniero Director, a quien se considerará como única persona técnica para las dudas e interpretaciones del presente Pliego, o en su defecto, el Ingeniero designado por la Delegación del Colegio Oficial de Ingenieros de la zona, y en último extremo los tribunales competentes, a cuyo fuero se someten ambas partes.

El contrato se formalizará como documento privado o público a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. En el contrato se reflejará las particularidades que convengan ambas partes, completando o modificando lo señalado en el presente Pliego de Condiciones, que quedará incorporado al contrato como documento integrante del mismo.

### **5.1.6. Adjudicación.**

#### **5.1.6.1. Concurso.**

La licitación de la obra se hará por Concurso Restringido, en el que la Empresa convocará a las Empresas Constructoras que estime oportuno.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección de la Empresa.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la Documentación Técnica enviada.

#### **5.1.6.2. Retirada de documentación de concurso.**

Los Contratistas, por sí o a través de sus representantes, podrán retirar dicha documentación de las oficinas de la Empresa cuando ésta no les hubiese sido enviada previamente.

La Empresa se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación, un depósito que será reintegrado en su totalidad a los Contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de la obra, previa devolución de dicha documentación.

#### **5.1.6.3. Aclaraciones a los licitadores.**

Antes de transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del Concurso, los Contratistas participantes podrán solicitar por escrito a la Empresa las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los Planos, Pliegos de Condiciones o en otros

documentos de Concurso, o si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

La Empresa estudiará las peticiones de aclaración e información recibidas y las contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores, si estimase que la aclaración solicitada es de interés general.

Si la importancia y repercusión de la consulta así lo aconsejara, la Empresa podrá prorrogar el plazo de presentación de ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

#### **5.1.6.4. Presentación de la documentación de la oferta.**

Las Empresas que oferten en el Concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

- Cuadro de Precios nº 1, consignando en letra y cifra los precios unitarios asignados a cada unidad de obra cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deberán incluir el porcentaje de Gastos Generales, Beneficio Industrial y el IVA que facturarán independientemente. En caso de no coincidir las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la primera. En el caso de que existiese discrepancia entre los precios unitarios de los Cuadros de Precios Números 1 y 2, prevalecerá el del Cuadro nº 1.
- Cuadro de Precios nº 2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:
- Mano de obra por categorías, expresando el número de horas invertido por categoría y precio horario.

- Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.
- Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.
- Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por tonelada y kilómetro.
- Varios y resto de obra que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.
- Porcentajes de Gastos Generales, Beneficios Industrial e IVA.
- Presupuesto de Ejecución Material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del Proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el Presupuesto y los del Cuadro de Precios nº 1, obligará los de este último.

Este Presupuesto vendrá desglosado, de acuerdo a lo establecido en el artículo 1.2. PUNTO 3 en dos presupuestos: a) Presupuesto de Obra Características y b) Presupuestos de Obra Complementarios, que en los sucesivos artículos de este Pliego recibirán esta denominación.

Las nuevas unidades de obra que aparezcan durante la ejecución de la misma con el carácter establecido se incorporarán previa aplicación de los precios correspondientes, al Presupuesto de Obras Complementarias.

- Presupuesto Total, obtenido al incrementar el Presupuesto de Ejecución Material en sus dos apartados con el porcentaje de IVA.

- Relación del personal técnico adscrito a la obra y organigrama general del mismo durante el desarrollo de la obra.
- Relación de maquinaria adscrita a la obra, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general; asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la obra en de resultar adjudicatario. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por la Empresa. Deberá incluirse asimismo un plan de permanencia de toda la maquinaria en obra.
- Baremos horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios horarios incluirán el porcentaje de Gastos Generales y Beneficio Industrial y el IVA que facturarán independientemente.
- Plan de obra detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo las distintas unidades de obra a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.
- Las empresas que oferten en el Concurso, deberán presentar una fianza de (...) millones de pesetas como garantía de mantenimiento de la oferta durante el plazo establecido en cada caso de acuerdo con el art. 1.6.6. Es potestativo de la Empresa la sustitución de la fianza en metálico por un AVAL bancario.
- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán venir firmadas por el representante legal o apoderado del oferente quien, a petición de la Empresa, deberá probar esta extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

- Además de la documentación reseñada anteriormente y que el Contratista deberá presentar con carácter obligatorio, la Empresa podrá exigir en cada caso, especificándolo así en el Pliego de Condiciones Particular de la Obra, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de obras ejecutadas, balances de la sociedad, etc.

#### **5.1.6.5. Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar**

- Capacidad para concurrir.

Las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de su capacidad jurídica y de obrar. No obstante, serán de aplicación a las Empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el Gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de estas obras.

- Documentación justificativa para la admisión previa.
- Documento oficial o testimonio notarial del mismo que acredite la personalidad del solicitante.
- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.
- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el artículo 1.6.4. del Pliego General de Condiciones.

- Carné de "Empresa con Responsabilidad".
- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente en el pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o de Licencia Fiscal, (ó compromiso, en su caso, de su matriculación en este, si resultase adjudicatario de las obras).
- Documento oficial acreditativo de hallarse al corriente de pago de las cuotas de la Seguridad Social y, concretamente, el de cobertura de riesgo de accidentes de trabajo.

#### **5.1.6.6. Validez de las ofertas.**

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo señalado en la carta de invitación, ó anuncio respectivo, ó que no conste de todos los documentos que se señalan en el artículo 1.6.4.

Los concursantes se obligan a mantener la validez de sus ofertas durante un periodo mínimo de 90 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

#### **5.1.6.7. Contradicciones y omisiones en la documentación.**

Lo mencionado, tanto en el Pliego General de Condiciones, como en el particular de cada obra y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y alguno de los mencionados Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo escrito en estos últimos.

Las omisiones en los Planos y Pliegos de Condiciones ó las descripciones erróneas de los detalles de la obra que deban ser subsanadas

para que pueda llevarse a cabo el espíritu ó intención expuesto en los Planos y Pliegos de Condiciones o que, por uso y costumbres, deben ser realizados, no sólo no exime al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si se hubiera sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones.

#### **5.1.6.8. Planos provisionales y definitivos.**

Con el fin de poder acelerar los trámites de licitación y adjudicación de las obras y consecuente iniciación de las mismas, la Empresa, podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, los planos que figuren en dicha documentación no serán válidos para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter de informativos y servirán para formar ideas de los elementos que componen la obra, así como para obtener las mediciones aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta. Este carácter de planos de información se hará constar expresamente y en ningún caso podrán utilizarse dichos planos para la ejecución de ninguna parte de la obra.

Los planos definitivos se entregarán al Contratista con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

#### **5.1.6.9. Adjudicación del concurso.**

La Empresa procederá a la apertura de las propuestas presentadas por los licitadores y las estudiará en todos sus aspectos. La Empresa tendrá alternativamente la facultad de adjudicar el Concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o declarar desierto el concurso. En este último caso la Empresa, podrá libremente suspender definitivamente la licitación de las obras o abrir un

nuevo concurso pudiendo introducir las variaciones que estime oportunas, en cuanto al sistema de licitación y relación de Contratistas oferentes.

Transcurriendo el plazo indicado en el Art. 1.6.6. desde la fecha límite de presentación de oferta, sin que la Empresa, hubiese comunicado la resolución del concurso, podrán los licitadores que lo deseen, proceder a retirar sus ofertas, así como las fianzas depositadas como garantía de las mismas.

La elección del adjudicatario de la obra por parte de la Empresa es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas oferentes.

La Empresa comunicará al oferente seleccionado la adjudicación de las obras, mediante una carta de intención.

En el plazo máximo de un mes a partir de la fecha de esta carta, el Contratista a simple requerimiento de la Empresa se prestará a formalizar en contrato definitivo. En tanto no se firme este y se constituya la fianza definitiva, la Empresa retendrá la fianza provisional depositada por el Contratista, a todos los efectos dimitentes del mantenimiento de la oferta.

#### **5.1.6.10. Devolución de planos y documentación**

Los Planos, Pliegos de Condiciones y demás documentación del concurso, entregado por la Empresa a los concursantes, deberá ser devuelto después de la adjudicación del concurso, excepto por lo que respecta al ADJUDICATARIO, que deberá conservarla sin poder reclamar la cantidad abonada por dicha documentación.

El plazo para devolver la documentación será de 30 días, a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas de donde fue retirada

La Empresa, a petición de los concursantes no adjudicatarios, devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 30 días, a partir de haberse producido dicha petición.

La no-devolución por parte de los contratistas no adjudicatarios de la documentación del concurso dentro del plazo, lleva implícita la pérdida de los derechos de la devolución del depósito correspondiente a la referida documentación, si lo hubiese.

#### **5.1.6.11. Permisos a obtener por la empresa.**

Será responsabilidad de la Empresa, la obtención de los permisos oficiales que más adelante se relacionan, siendo a su cargo todos los gastos que se ocasionen por tal motivo.

- Concesión de Aprovechamiento hidroeléctrico y termoeléctrico.
- Autorización de Instalaciones eléctricas.
- Aprobación de Proyectos de Replanteo
- Declaración de Utilidad Pública.
- Declaración de Urgente Ocupación.

Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de subestaciones.

- a) Licencia Municipal de Obras.
- b) Licencia de Apertura, Instalación y Funcionamiento.
- c) Autorización para vallas.
- d) Autorización Jefatura Provincial de Carreteras ó Diputación Provincial cuando la obra se encuentre situada en zona de policía de las carreteras.
- e) Enlace de carreteras con el acceso definitivo de la subestación.

- f) Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (Podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).
- g) Solicitud de Puesta en Servicio.

Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de líneas.

- a) Licencia municipal.
- b) Autorizaciones para cruces de carreteras, cauces públicos, cañadas, líneas telefónicas y telegráficas, montes públicos y, en general, cuanto dependa de los Organismos Oficiales.
- c) Permisos de propietarios de fincas afectadas.
- d) Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (Podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).
- e) Solicitud de Puesta en Servicio.

Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de aprovechamiento hidroeléctrico y termoeléctrico.

- a) Apertura del Centro de trabajo. (Igual responsabilidad incumbe al Contratista, por lo que a él respecta).
- b) Licencia Municipal de Obras.
- c) Autorización del Servicio de Pesca, cuando se prevea alteración en el curso de las aguas.
- d) Enlace de pistas definitivas con carreteras con la aprobación de las Jefaturas de Obras Públicas ó Diputaciones.
- e) Aprobación de Proyectos de Sustitución de Servidumbres.
- f) Autorizaciones que deban ser concedidas por Confederaciones Hidrográficas, Comisaría de Aguas, Servicio de Vigilancia de

Presas, Servicio Geológico, MOPU y restantes Organismos Oficiales en relación directa con el Proyecto.

g) Tramitación de expropiaciones de terrenos ocupados por las instalaciones y obras definitivas.

En el caso en que la Empresa, así lo estimase oportuno, podrá tramitar la expropiación de los terrenos necesarios para las instalaciones provisionales del contratista, siendo de cuenta de este los gastos que tales expropiaciones originen.

h) Reconocimiento final de la obra y puesta en marcha mediante Acta que levantarán conjuntamente los representantes de Industria y Obras Públicas.

i) Alta en Contribución Urbana y Licencia Fiscal.

j) Apartado (d) del artículo 14.3.

#### **5.1.6.12. Permisos a obtener por el contratista.**

Serán a cuenta y cargo del Contratista, además de los permisos inherentes a su condición de tal, la obtención de los permisos que se relacionan:

a) Apertura del Centro del Trabajo.

b) Permiso para el transporte de obreros.

c) Autorización de barracones, por Obras Públicas ó Diputación, siempre que se encuentren en la zona de influencia de carreteras y, en cualquier caso la licencia municipal.

d) Autorización para la instalación y funcionamiento de escuelas, botiquines y economatos.

e) Alta de talleres en Industria y Hacienda.

f) Autorización de Industria para las Instalaciones Eléctricas provisionales.

- g) Permiso de la Dirección de Minas para la explotación de canteras y yacimientos.
- h) Permiso de la Dirección de Minas para la instalación de polvorines.
- i) Permisos para la adquisición, transporte y utilización de explosivos.
- j) Apartado (d) del artículo 14.3.

#### **5.1.7. De los materiales y sus aparatos, su procedencia.**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos todas clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el contrato, que estén perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sean empleados en obra conforme a las reglas del arte, a lo preceptuado en el Pliego de Condiciones y a lo ordenado por el Ingeniero Doctor.

Se exceptúa el caso en que los Pliegos de Condiciones Particulares dispongan un origen preciso y determinado, en cuyo caso, este requisito será de indispensable cumplimiento salvo orden por escrito en contrario del Ingeniero Director.

Como norma general, el Contratista vendrá obligado a presentar el certificado de Garantía o Documento de Idoneidad Técnica de los diferentes materiales destinados a la ejecución de obra.

Todos los materiales y, en general, todas las unidades de obra que intervengan en la construcción del presente proyecto, habrán de reunir las condiciones exigidas por el Pliego de Condiciones varias de la Edificación, compuesto por el Centro Experimental de Arquitectura, y demás Normativas vigentes que serán interpretadas en cualquier caso por el Ingeniero Doctor de la Obra, por lo que el Ingeniero podrá rechazar material o unidad de obra que no reúna las condiciones exigidas, sin que el Contratista pueda hacer reclamación alguna.

#### **5.1.8. Plazo de comienzo y de ejecución**

El adjudicatario deberá dar comienzo a las obras dentro de los quince días siguientes a la fecha de adjudicación definitiva a su favor, dando cuenta de oficio a la Dirección Técnica, del día que se propone inaugurar los trabajos, quién acusará recibo.

Las obras deberán quedar total y absolutamente terminadas en el plazo que se fije en la adjudicación a contar desde igual fecha que en el caso anterior. No se considerará motivo de demora de las obras la posible falta de mano de obra o dificultades en la entrega de los materiales.

#### **5.1.9. Sanciones por retraso de las obras**

Si el Constructor, excluyendo los casos de fuerza mayor, no tuviese perfectamente concluidas las obras y en disposición de inmediata utilización o puesta en servicio, dentro del plazo previsto en el artículo correspondiente, la propiedad, oyendo el parecer de la Dirección Técnica, podrá reducir de las liquidaciones, fianzas o emolumentos de toda clase que tuviese en su poder, las cantidades establecidas según las cláusulas del contrato privado entre Propiedad y Contrata.

#### **5.1.10. Obras de reforma y mejora**

Si por decisión de la Dirección Técnica se introdujesen mejoras, presupuestos adicionales o reformas, el Constructor queda obligado a ejecutarlas, con la baja correspondiente conseguida en el acto de la adjudicación, siempre que el aumento no sea superior al 10 % del presupuesto de la obra.

### **5.1.11. Trabajos defectuosos**

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales que cumplan las condiciones generales exigidas en el Pliego de Condiciones Generales y Particulares, y realizará todos los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado en dicho documento, y en los demás que se recogen en este Pliego.

Por ello y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa, ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que por el Ingeniero Director o sus auxiliares, no se le haya llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que le hayan sido valoradas las certificaciones parciales de obra, que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta. Así mismo, será de su responsabilidad la correcta conservación de las diferentes partes de la obra, una vez ejecutadas, hasta su entrega.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de ejecución de los trabajos o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo preceptuado y todo ello a expensas de la Contrata.

En el supuesto de que la reparación de la obra, de acuerdo con el proyecto, o su demolición, no fuesen técnicamente posibles, se actuará sobre la devaluación económica de las unidades en cuestión, en cuantía

proporcionada a la importancia de los defectos y en relación al grado de acabado que se pretenda para la obra.

En caso de reiteración en la ejecución de unidades defectuosas, o cuando éstas sean de gran importancia, la Propiedad podrá optar, previo asesoramiento de la Dirección Facultativa, por la rescisión del contrato sin perjuicio de las penalizaciones que pudiera imponer a la Contrata en concepto de indemnización.

#### **5.1.12. Vicios ocultos**

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que crea defectuosos.

Los gastos de demolición y reconstrucción que se ocasionan, serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario, correrán a cargo del propietario.

#### **5.1.13. Recepción provisional de las obras**

Una vez terminada la totalidad de las obras, se procederá a la recepción provisional, para la cual será necesaria la asistencia de un representante de la Propiedad, de los Ingenieros Directores de las obras y del Contratista o su representante. Del resultado de la recepción se extenderá un acta por triplicado, firmada por los tres asistentes legales antes indicados.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas

provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía de un año.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se especificarán en la misma los defectos observados, así como las instrucciones al Contratista que la Dirección Técnica considere necesarias para remediar los efectos observados, fijándose un plazo para subsanarlo, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, se considerará rescindida la Contrata con pérdidas de fianza, a no ser que se estime conveniente se le conceda un nuevo e improrrogable plazo.

Será condición indispensable para proceder a la recepción provisional la entrega por parte de la Contrata a la Dirección Facultativa de la totalidad de los planos de obra generales y de las instalaciones realmente ejecutadas, así como sus permisos de uso correspondientes.

#### **5.1.14. Medición definitiva de los trabajos**

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente, por la Dirección de la obra a su medición general y definitiva, con precisa asistencia del Contratista o un representante suyo nombrado por el oficio.

#### **5.1.15. Plazo de garantía**

El plazo de garantía de las obras terminadas será de un año, transcurrido el cual se efectuará la recepción definitiva de las mismas, que, de resolverse favorablemente, relevará al Constructor de toda responsabilidad de conservación, reforma o reparación.

Caso de hallarse anomalías u obras defectuosas, la Dirección técnica concederá un plazo prudencial para que sean subsanadas y, si a la expiración del mismo, resultase que aún el Constructor no hubiese cumplido su compromiso, se rescindirá el contrato, con pérdida de la fianza, ejecutando la Propiedad las reformas necesarias con cargo a la citada fianza.

#### **5.1.16. Conservación de las obras recibidas provisionalmente**

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía, comprendido entre la recepción parcial y la definitiva correrán a cargo del Contratista. En caso de duda será juez imparcial, la Dirección Técnica de la obra, sin que contra su resolución quepa ulterior recurso.

#### **5.1.17. Recepción definitiva**

Finalizado el plazo de garantía se procederá a la recepción definitiva, con las mismas formalidades de la provisional. Si se encontraran las obras en perfecto estado de uso y conservación, se darán por recibidas definitivamente y quedará el Contratista relevado de toda responsabilidad administrativa, quedando subsistente la responsabilidad civil según establece la Ley.

En caso contrario se procederá de idéntica forma que la preceptuada para la recepción provisional, sin que el Contratista tenga derecho a percepción de cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía y siendo obligación suya hacerse cargo de los gastos de conservación hasta que la obra haya sido recibida definitivamente.

#### **5.1.18. Dirección de obra**

Conjuntamente con la interpretación técnica del proyecto, que corresponde a la Dirección Facultativa, es misión suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen, y ello con autoridad técnica legal completa sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de las obras e instalaciones anejas se lleven a cabo, si considera que adoptar esta resolución es útil y necesaria para la buena marcha de las obras.

El contratista no podrá recibir otras órdenes relativas a la ejecución de la obra que las que provengan del Director de Obra o de las personas por él delegadas.

#### **5.1.19. Obligaciones de la contrata**

Toda la obra se ejecutará con estricta sujeción al proyecto que sirve de base a la Contrata, a este Pliego de Condiciones y a las órdenes e instrucciones que se dicten por el Ingeniero Director o ayudantes delegados. El orden de los trabajos será fijado por ellos, señalándose los plazos prudenciales para la buena marcha de las obras.

El Contratista habilitará por su cuenta los caminos, vías de acceso, etc., así como una caseta en la obra donde figuren en las debidas condiciones los documentos esenciales del proyecto, para poder ser examinados en cualquier momento. Igualmente permanecerá en la obra, bajo custodia del Contratista, un "libro de órdenes", para cuando lo juzgue conveniente la Dirección dictar las que hayan de extenderse, y firmarse el "enterado" de las mismas por el Jefe de Obra. El hecho de que en dicho libro no figuren redactadas las órdenes que preceptoramente tiene la obligación de cumplir el Contratista, de acuerdo con lo establecido en el Pliego de Condiciones de la Edificación, no supone eximente ni atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista.

Por la Contrata se facilitarán todos los medios auxiliares que se precisen, y locales para almacenes adecuados, pudiendo adquirir los materiales dentro de las condiciones exigidas en el lugar y sitio que tenga por conveniente, pero reservándose el Propietario, siempre por sí o por medio de sus técnicos, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido sus compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, e igualmente, lo relativo a las cargas en materia social, especialmente al aprobar las liquidaciones o recepciones de obra.

La Dirección Técnica y con cualquier parte de la obra ejecutada que no esté de acuerdo con el presente Pliego de Condiciones o con las instrucciones dadas durante su marcha, podrá ordenar su inmediata demolición o su sustitución hasta quedar, a su juicio, en las debidas condiciones, o alternativamente, aceptar la obra con la depreciación que estime oportuna, en su valoración.

Igualmente se obliga a la Contrata a demoler aquellas partes en que se aprecie la existencia de vicios ocultos, aunque se hubieran recibido provisionalmente.

Son obligaciones generales del Contratista las siguientes:

- Verificar las operaciones de replanteo y nivelación, previa entrega de las referencias por la Dirección de Obra.
- Firmar las actas de replanteo y las recepciones.
- Presenciar las operaciones de medición y liquidaciones, haciendo las observaciones que estime justas, sin perjuicio del derecho que le asiste para examinar y comprobar dicha liquidación.
- Ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aunque no esté expresamente estipulado en este Pliego.

El Contratista no podrá subcontratar la obra total o parcialmente, sin autorización escrita de la Dirección, no reconociéndose otra personalidad que la del Contratista o su apoderado.

El Contratista se obliga, a sí mismo, a tomar a su cargo cuanto personal necesario a juicio de la Dirección Facultativa.

El Contratista no podrá, sin previo aviso, y sin consentimiento de la Propiedad y Dirección Facultativa, ceder ni traspasar sus derechos y obligaciones a otra persona o entidad.

#### **5.1.20. Responsabilidades de la contrata**

Son de exclusiva responsabilidad del Contratista, además de las expresadas, las de:

- Todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sucedan a los operarios, tanto en la construcción como en los andamios, debiendo atenerse a lo dispuesto en la legislación vigente sobre accidentes de trabajo y demás preceptos, relacionados con la construcción, régimen laboral, seguros, subsidiarios, etc.
- El cumplimiento de las Ordenanzas y Disposiciones Municipales en vigor. Y en general será responsable de la correcta ejecución de las obras que haya contratado, sin derecho a indemnización por el mayor precio que pudieran costarle los materiales o por erradas maniobras que cometiera, siendo de su cuenta y riesgo los perjuicios que pudiera ocasionarse.

#### **5.1.21. Obras ocultas**

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose uno al propietario, otro al Ingeniero Director y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables para efectuar las mediciones.

#### **5.1.22. Seguridad e higiene en el trabajo**

El Contratista estará obligado a redactar un proyecto completo de Seguridad e Higiene en el Trabajo análogo al detallado en el Anexo de Seguridad y Salud del presente proyecto específico para la presente obra, conformado y que cumplan las disposiciones vigentes, no eximiéndole el incumplimiento o los defectos del mismo de las responsabilidades de todo género que se deriven.

Durante las tramitaciones previas y durante la preparación, la ejecución y remate de los trabajos que estén bajo esta Dirección Facultativa, serán cumplidas y respetadas al máximo todas las disposiciones vigentes y especialmente las que se refieren a la Seguridad e Higiene en el Trabajo, en la Industria de la construcción, lo mismo en lo relacionado a los intervinientes en el tajo como con las personas ajenas a la obra.

En caso de accidentes ocurridos a los operarios, en el transcurso de ejecución de los trabajos de la obra, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a este respecto en la legislación vigente, siendo en todo caso, único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad ni la Dirección Facultativa, por responsabilidad en cualquier aspecto.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran, tanto en la propia obra como en las edificaciones contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en los trabajos de ejecución de la obra, cuando a ello hubiera lugar.

## **5.2. Desarrollo del contrato, condiciones económicas y legales**

### **5.2.1. Contrato**

A tenor de lo dispuesto en el artículo 1.6.9. el Contratista, dentro de los treinta días siguientes a la comunicación de la adjudicación y a simple requerimiento de la Empresa, depositará la fianza definitiva y formalizará el Contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

El Contrato, tendrá carácter de documento privado, pudiendo ser elevado a público, a instancias de una de las partes, siendo en este caso a cuenta del Contratista los gastos que ello origine.

Una vez depositada la fianza definitiva y firmado el Contrato, la Empresa procederá, a petición del interesado, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

Cuando por causas imputables al Contratista, no se pudiera formalizar el Contrato en el plazo, la Empresa podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

A efectos de los plazos de ejecución de las obras, se considerará como fecha de comienzo de las mismas la que se especifique en el Pliego Particular de Condiciones y en su defecto la de la orden de comienzo de los

trabajos. Esta orden se comunicará al Contratista en un plazo no superior a 90 días a partir de la fecha de la firma del contrato.

El Contrato, será firmado por parte del Contratista, por su representante legal o apoderado, quien deberá poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

### **5.2.2. Gastos e impuestos**

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden, que por disposición del Estado, Provincia o Municipio se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del contratista con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre si. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

### **5.2.3. Finanzas provisional, definitiva y fondo de garantía**

- Fianza provisional.

La fianza provisional del mantenimiento de las ofertas se constituirá por los contratistas oferentes por la cantidad que se fije en las bases de licitación.

Esta fianza se depositará al tomar parte en el concurso y se hará en efectivo.

Por lo que a plazo de mantenimiento, alcance de la fianza y devolución de la misma se refiere, se estará a lo establecido en los artículos 1.6.4., 1.6.6. y 1.6.9. del presente Pliego General.

- Fianza definitiva.

A la firma del contrato, el Contratista deberá constituir la fianza definitiva por un importe igual al 5% del Presupuesto Total de Adjudicación.

En cualquier caso la Empresa se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, estableciendo previamente en las bases del concurso el importe de esta fianza.

La fianza se constituirá en efectivo ó por Aval Bancario realizable a satisfacción de la Empresa. En el caso de que el Aval Bancario sea prestado por varios Bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con la Empresa y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión.

El modelo de Aval Bancario será facilitado por la Empresa debiendo ajustarse obligatoriamente el Contratista a dicho modelo.

La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de las obras y será devuelta una vez realizada esta.

Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de la obra que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la fecha de la recepción provisional. Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio de la Empresa en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al Contratista.

- Fondo de garantía.

Independientemente de esta fianza, la Empresa retendrá el 5% de las certificaciones mensuales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía.

Este fondo de garantía responderá de los defectos de ejecución o de la mala calidad de los materiales, suministrados por el Contratista, pudiendo la Empresa realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el Contratista no ejecutase por su cuenta y cargo dicha reparación.

Este fondo de garantía se devolverá, una vez deducidos los importes a que pudiese dar lugar el párrafo anterior, a la recepción definitiva de las obras.

#### **5.2.4. Asociación de constructores**

Si las obras licitadas se adjudicasen en común a un grupo ó asociación de constructores, la responsabilidad será conjunta y solidaria, con relación al compromiso contraído por el grupo o asociación.

Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante la Empresa. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante la Empresa en nombre del grupo o asociación.

La designación de representante, para surtir efecto, deberá ser aceptada y aprobada por la Empresa por escrito.

### **5.2.5. Subcontratistas**

El Contratista podrá subcontratar o destajar cualquier parte de la obra, previa autorización de la Dirección de la misma, para lo cual deberá informar con anterioridad a esta, del alcance y condiciones técnico-económicas del Subcontrato.

La Empresa, a través de la Dirección de la Obra, podrá en cualquier momento requerir del Contratista la exclusión de un Subcontratista por considerar al mismo incompetente, o que no reúne las necesarias condiciones, debiendo el Contratista tomar las medidas necesarias para la rescisión de este Subcontrato, sin que por ello pueda presentar reclamación alguna a la Empresa.

En ningún caso podrá deducirse relación contractual alguna entre los Subcontratistas y la Empresa, como consecuencia de la ejecución por aquellos de trabajos parciales correspondientes al Contrato principal, siendo siempre responsable el Contratista ante la Empresa de todas las actividades del Subcontratista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este Pliego.

Los trabajos específicos que requieran una determinada especialización y que no estuviesen incluidos en el Presupuesto del Contrato, bien por que aún estando previstos en la Memoria y/o Planos de Concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien por que su necesidad surgiese a posteriori durante la ejecución del Contrato, podrán ser adjudicados por la Empresa directamente a la Empresa que libremente elija, debiendo el Contratista prestar las ayudas necesarias para la realización de los mismos.

### **5.2.6. Relaciones entre la empresa y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas**

El Contratista está obligado a suministrar, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, de la que la Empresa juzgue necesario tener conocimiento. Entre otras razones por la posible incidencia de los trabajos confiados al Contratista, sobre los de otros Contratistas y suministradores.

El Contratista debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que estos sean designados por la Empresa, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de la obra, y la seguridad de los trabajadores.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes. Repartirán también entre ellos, proporcionalmente a su utilización, las cargas relativas a los caminos de acceso.

La Empresa deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda, o designar el árbitro a quien haya de someterse dichas diferencias. La decisión del árbitro designado por la Empresa es obligatoria para los interesados. En ningún caso en la Empresa deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho que tuviese lugar por falta de información por parte del Contratista.

Cuando varios contratistas trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudiera derivarse de su propia actuación.

#### **5.2.7. Domicilios y representaciones**

El Contratista está obligado, antes de iniciarse las obras objeto del contrato a constituir un domicilio en la proximidad de las obras, dando cuenta a la Empresa del lugar de ese domicilio.

Seguidamente a la notificación del contrato, la Empresa comunicará al Contratista su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como nombre de su representante.

Antes de iniciarse las obras objeto del contrato, el Contratista designará su representante a pie de obra y se lo comunicará por escrito a la Empresa especificando sus poderes, que deberán ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación de la Empresa. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Contratista la ausencia de su representante a pie de obra.

El Contratista está obligado a presentar a la representación de la EMPRESA antes de la iniciación de los trabajos, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de la obra contratada y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

La designación del representante del Contratista, así como la del personal facultativo, responsable de la ejecución de la obra contratada, requiere la conformidad y aprobación de la Empresa quien por motivo

fundado podrá exigir el Contratista la remoción de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

#### **5.2.8. Gastos de carácter general por cuenta del contratista**

Se entiende como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por la comprobación del replanteo de la obra, los ensayos de materiales que deba realizar por su cuenta el Contratista; los de montaje y retirada de las construcciones auxiliares, oficinas, almacenes y cobertizos pertenecientes al Contratista; los correspondientes a los caminos de servicio, señales de tráfico provisionales para las vías públicas en las que se dificulte el tránsito, así como de los equipos necesarios para organizar y controlar este en evicción de accidentes de cualquier clase; los de protección de materiales y la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes para el almacenamiento de explosivos y combustibles; los de limpieza de los espacios interiores y exteriores; los de construcción, conservación y retirada de pasos, caminos provisionales y alcantarillas; los derivados de dejar tránsito a peatones y vehículos durante la ejecución de las obras; los de desviación de alcantarillas, tuberías, cables eléctricos y, en general, de cualquier instalación que sea necesario modificar para las instalaciones provisionales del Contratista; los de construcción, conservación, limpieza y retirada de las instalaciones sanitarias provisionales y de limpieza de los lugares ocupados por las mismas; los de retirada al fin de la obra de instalaciones, herramientas, materiales, etc., y limpieza general de la obra.

Salvo que se indique lo contrario, será de cuenta del Contratista el montar, conservar y retirar las instalaciones para el suministro del agua y de la energía eléctrica necesaria para las obras y la adquisición de dichas aguas y energía.

Serán de cuenta del Contratista los gastos ocasionados por la retirada de la obra, de los materiales rechazados, los de jornales y materiales para las mediciones periódicas para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final; los de pruebas, ensayos, reconocimientos y tomas de muestras para las recepciones parciales y totales, provisionales y definitivas, de las obras; la corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc., y los gastos derivados de los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

Además de los ensayos a los que se refiere el primer y el tercer apartados de este artículo, serán por cuenta del Contratista los ensayos que realice directamente con los materiales suministrados por sus proveedores antes de su adquisición e incorporación a la obra y que en su momento serán controlados por la Empresa para su aceptación definitiva. Serán así mismo de su cuenta aquellos ensayos que el Contratista crea oportuno realizar durante la ejecución de los trabajos, para su propio control.

Por lo que a gastos de replanteo se refiere serán por cuenta del Contratista todos los gastos de replanteo secundarios necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, a partir del replanteo principal definido y cuyos gastos correrán por cuenta de la Empresa.

En los casos de resolución del Contrato, cualquiera que sea la causa que lo motive, serán de cuenta del Contratista los gastos de jornales y materiales ocasionados por la liquidación de las obras y los de las Actas Notariales que sean necesarias levantar, así como los de retirada de los medios auxiliares que no utilice la Empresa o que le devuelva después de utilizados.

### **5.2.9. Gastos de carácter general por cuenta de la empresa**

Serán por cuenta de la Empresa los gastos originados por la inspección de las obras del personal de la Empresa o contratados para este fin, la comprobación o revisión de las certificaciones, la toma de muestras y ensayos de laboratorio para la comprobación periódica de calidad de materiales y obras realizadas, salvo los indicados en el artículo 2.9., y el transporte de los materiales suministrados por la Empresa, hasta el almacén de obra, sin incluir su descarga ni los gastos de paralización de vehículos por retrasos en la misma.

Así mismos, serán a cargo de la Empresa los gastos de primera instalación, conservación y mantenimiento de sus oficinas de obra, residencias, poblado, botiquines, laboratorios, y cualquier otro edificio e instalación propiedad de la Empresa y utilizados por el personal empleado de esta empresa, encargado de la dirección y vigilancia de las obras.

### **5.2.10. Indemnizaciones por cuenta del contratista**

Será de cuenta del Contratista la reparación de cualquier daño que pueda ocasionar sus instalaciones y construcciones auxiliares en propiedades particulares; los producidos por la explotación de canteras, la extracción de tierras para la ejecución de terraplenes; los que se originen por la habilitación de caminos y vías provisionales y, finalmente, los producidos en las demás operaciones realizadas por el Contratista para la ejecución de las obras.

### **5.2.11. Partidas para obras accesorias**

Las cantidades calculadas para obras accesorias, que como consecuencia de su escasa o nula definición, figuren en el presupuesto

general con una partida alzada, no se abonará por su monto total, salvo que expresamente se indique así en el Pliego Particular de Condiciones.

En consecuencia estas obras accesorias se abonarán a los precios unitarios del Contrato y conforme a las unidades y medidas que se obtengan de los proyectos que se realicen para ellas y de su medición final.

#### **5.2.12. Partidas alzadas**

Las partidas alzadas consignadas en los presupuestos para obras o servicios, y que expresamente así se indique en el Pliego Particular de Condiciones, se abonarán por su importe una vez realizados totalmente dichos trabajos.

Quedan excluidas de este sistema de abono, las obras accesorias que se liquidarán conforme a lo indicado en el artículo 2.12.

#### **5.2.13. Revisión de precios**

La Empresa adopta para las revisiones de los precios el sistema de fórmulas polinómicas vigentes para las obras del Estado y Organismos Autónomos, establecido por el Decreto-Ley 2/1964 de 4 de febrero (B.O.E. de 6-II-64), especialmente en lo que a su artículo 1.6.1. se refiere.

En el Pliego Particular de Condiciones de la obra, se establecerá la fórmula o fórmulas polinómicas a emplear, adoptando de entre todas las reseñadas en el Decreto-Ley 3650/1970 de 19 de diciembre (B.O.E. 29-XII-70) la que más se ajuste a las características de la obra contratada.

Si estas características así lo aconsejan, la Empresa se reserva el derecho de establecer en dicho Pliego nuevas fórmulas, modificando los coeficientes o las variables de las mismas.

Para los valores actualizados de las variables que inciden en la fórmula, se tomarán para cada mes los que faciliten el Ministerio de Hacienda una vez publicados en el B.O.E. Los valores iniciales corresponderán a los del mes de la fecha del Contrato.

Una vez obtenido el índice de revisión mensual, se aplicará al importe total de la certificación correspondiente al mes de que se trate, siempre y cuando la obra realizada durante dicho periodo, lo haya sido dentro del programa de trabajo establecido.

En el caso de que las obras se desarrollen con retraso respecto a dicho programa, las certificaciones mensuales producidas dentro del plazo se revisarán por los correspondientes índices de revisión hasta el mes previsto para la terminación de los trabajos. En este momento, dejarán de actualizarse dicho índice y todas las certificaciones posteriores que puedan producirse, se revisarán con este índice constante.

Si las obras a realizar fuesen de corta duración, la Empresa podrá prescindir de la cláusula de revisión de precios, debiéndolo hacer constar así expresamente en las bases del Concurso.

#### **5.2.14. Régimen de intervención**

Cuando el Contratista no de cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del Contrato, sea a las órdenes de servicio que les sean dadas por la Empresa, esta le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo en casos de urgencia, no será nunca menor de 10 días a partir de la notificación de requerimiento.

Pasado este plazo, si el Contratista no ha ejecutado las disposiciones dadas, la Empresa podrá ordenar a título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Contratista.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Contratista, o habiéndole convocado debidamente, a la comprobación de las obras ejecutadas, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del Contratista, y a la devolución a este de la parte de materiales que no utilizara la Empresa para la terminación de los trabajos.

La Empresa tiene por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del Contratista incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el periodo de Régimen de Intervención, el Contratista podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Empresa.

El Contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulte de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que puedan ser debidas al Contratista, sin perjuicios de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato supone, por el contrario una disminución de gastos, el Contratista no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la Empresa.

#### **5.2.15. Rescisión del contrato**

Cuando a juicio de la Empresa el incumplimiento por parte del Contratista de alguna de las cláusulas del Contrato, pudiera ocasionar

graves trastornos en la realización de las obras, en el cumplimiento de los plazos, o en su aspecto económico, la Empresa podrá decidir la resolución del Contrato, con las penalidades a que hubiera lugar. Así mismo, podrá proceder la resolución con pérdida de fianza y garantía suplementaria si la hubiera, de producirse alguno de los supuestos siguientes.

Cuando no se hubiese efectuado el montaje de las instalaciones y medios auxiliares o no se hubiera aportado la maquinaria relacionada en la oferta o su equivalente en potencia o capacidad en los plazos previstos incrementados en un 25%, o si el Contratista hubiese sustituido dicha maquinaria en sus elementos principales sin la previa autorización de la Empresa.

Cuando durante un periodo de tres meses consecutivos y considerados conjuntamente, no se alcanzase un ritmo de ejecución del 50% del programa aprobado para la Obra característica.

Cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20% de presupuesto de Obra característica tal como se define en el artículo 7.3. La imposición de las multas establecidas por los retrasos sobre dicho plazo, no obligará a la Empresa a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir entre la resolución o la continuidad del Contrato.

Será así mismo causa suficiente para la rescisión, alguno de los hechos siguientes:

- La quiebra, fallecimiento o incapacidad del Contratista. En este caso, la Empresa podrá optar por la resolución del Contrato, o por que se subroguen en el lugar del Contratista los síndicos de la quiebra, sus causahabientes o sus representantes.

- La disolución, por cualquier causa, de la sociedad, si el Contratista fuera una persona jurídica.
- Si el Contratista es una agrupación temporal de empresas y alguna de las integrantes se encuentra incluida en alguno de los supuestos previstos en alguno de los apartados del artículo 2.16., la Empresa estará facultada para exigir el cumplimiento de las obligaciones pendientes del Contrato a las restantes empresas que constituyen la agrupación temporal o para acordar la resolución del Contrato. Si la Empresa optara en ese momento por la rescisión, esta no producirá pérdida de la fianza, salvo que concurriera alguna otra causa suficiente para declarar tal pérdida.
- Procederá asimismo la rescisión, sin pérdida de fianza por el Contratista, cuando se suspenda la obra comenzada, y en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista, no sea posible dar comienzo a la obra adjudicada, dentro del plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación.
- En el caso de que se incurriese en las causas de resolución del Contrato conforme a las cláusulas de este Pliego General de Condiciones, o del Particular de la obra, la Empresa se hará cargo de las obras en la situación en que se encuentren, sin otro requisito que el del levantamiento de un Acta Notarial o simple, si ambas partes prestan su conformidad, que refleje la situación de la obra, así como de acopios de materiales, maquinaria y medios auxiliares que el Contratista tuviese en ese momento en el emplazamiento de los trabajos. Con este acto de la Empresa el Contratista no podrá poner interdicto ni ninguna otra acción judicial, a la que renuncie expresamente.

- Siempre y cuando el motivo de la rescisión sea imputable al Contratista, este se obliga a dejar a disposición de la Empresa hasta la total terminación de los trabajos, la maquinaria y medios auxiliares existentes en la obra que la Empresa estime necesario, pudiendo el Contratista retirar los restantes.

La Empresa abonará por los medios, instalaciones y máquinas que decida deben continuar en obra, un alquiler igual al estipulado en el baremo para trabajos por administración, pero descontando los porcentajes de gastos generales y beneficio industrial del Contratista.

- El Contratista se compromete como obligación subsidiaria de la cláusula anterior, a conservar la propiedad de las instalaciones, medios auxiliares y maquinaria seleccionada por la Empresa o reconocer como obligación precedente frente a terceros, la derivada de dicha condición.
- La Empresa comunicará al Contratista, con treinta días de anticipación, la fecha en que desea reintegrar los elementos que venía utilizando, los cuales dejará de devengar interés alguno a partir de su devolución, o a los 30 días de la notificación, si el Contratista no se hubiese hecho cargo de ellos. En todo caso, la devolución se realizará siempre a pie de obra, siendo por cuenta del Contratista los gastos de su traslado definitivo.
- En los contratos rescindidos, se procederá a efectos de garantías, fianzas, etc. a efectuar las recepciones provisionales y definitivas de todos los trabajos ejecutados por el Contratista hasta la fecha de la rescisión.

### **5.2.16. Propiedad industrial y comercial**

Al suscribir el Contrato, el Contratista garantiza a la Empresa contra toda clase de reivindicaciones que se refieran a suministros y materiales, procedimientos y medios utilizados para la ejecución de las obras y que procedan de titulares (JOE) de patentes, licencias, planos, modelos, marcas de fábrica o comercio.

En el caso de que fuera necesario, corresponde al Contratista la obtención de las licencias o autorizaciones precisas y soportar la carga de los derechos e indemnizaciones correspondientes.

En caso de acciones dirigidas contra la Empresa por terceros titulares de licencias, autorizaciones, planos, modelos, marcas de fábrica o de comercio utilizadas por el Contratista para la ejecución de los trabajos, el Contratista responderá ante la Empresa del resultado de dichas acciones estando obligado además a prestarle su plena ayuda en el ejercicio de las excepciones que competan a la Empresa.

### **5.2.17. Disposiciones legales**

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (O.M. 9-III-71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432/71.de 11-III-71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (O.M. 20-V-52).
- Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (O.M. 21-XI-59).
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28-VIII-70).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (O.M. 20-IX-73).
- Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión (O.M. 28-XI-68).

- Normas Para Señalización de Obras en las Carreteras (O.M. 14-III-60).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción y Estatuto de los Trabajadores.
- Obligatoriedad de la Inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas (Real Decreto 555/1986, 21-II-86).
- Cuantas disposiciones legales de carácter social, de protección a la industria nacional, etc., rijan en la fecha en que se ejecuten las obras.
- Reglamento sobre Condiciones técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones Eléctricas y Centros de Transformación (real Decreto 3275/1982.de 12-XI-82).
- Viene también obligado al cumplimiento de cuanto la Dirección de Obra le dicte encaminado a garantizar la seguridad de los obreros y de la obra en general. En ningún caso dicho cumplimiento eximirá de responsabilidad al CONTRATISTA.

#### **5.2.18. Tribunales**

El Contratista renuncia al fuero de su propio domicilio y se compromete a sustanciar cuantas reclamaciones origine el Contrato ante los tribunales.

#### **5.3. Condiciones técnicas que han de cumplir los materiales**

Los materiales deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifiquen en los distintos documentos que componen el Proyecto.

Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad, aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica, que avalen sus cualidades, emitidos por Órganos Técnicos reconocidos.

Por parte del Contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos, sea solicitado informe sobre ellos a la Dirección Facultativa y al Organismo encargado del Control de Calidad.

El Contratista será responsable del empleo de materiales que cumplan con las condiciones exigidas, siendo estas condiciones independientes con respecto al nivel de control de calidad para aceptación de los mismos, que se establece en el apartado de Especificaciones de Control de Calidad. Aquellos materiales que no cumplan con las condiciones exigidas, deberán ser sustituidos, sea cual fuese la fase en que se encontrase la ejecución de la obra, corriendo el Constructor con todos los gastos que ello ocasionase. En el supuesto de que por circunstancias diversas tal sustitución resultase inconveniente, a juicio de la Dirección Facultativa, se actuará sobre la devaluación económica del material en cuestión, con el criterio que marque la Dirección Facultativa y sin que el Constructor pueda plantear reclamación alguna.

#### **5.4. Condiciones técnicas que ha de cumplir la ejecución**

El proceso constructivo de las distintas unidades que conforman el proyecto se ajustará a las especificaciones de la Normativa vigente aplicándose con preferencia las siguientes:

- Normas MV.
- Normas Tecnológicas NTE.
- EH-88/91.
- EF-88.
- RL-88.

Por parte del Contratista deberá ponerse especial cuidado en la vigilancia y control de la correcta ejecución de las distintas unidades del Proyecto, con el fin de que la calidad se atenga a las especificaciones que sobre ellas se prevenga en las distintas Normas que sirven de apoyo y guía del proceso constructivo. La aceptación o no de las partes ejecutadas será independiente de que éstas hayan sido o no certificadas, puesto que en todo caso las certificaciones deben ser consideradas como “a buena cuenta”.

### **5.5 Especificaciones sobre el control de calidad**

Por parte de la Propiedad, y con la aprobación de la Dirección Facultativa, se encargará a un Laboratorio de Control de Calidad, con homologación reconocida, la ejecución del Control de Calidad de aceptación. Independientemente del Constructor deberá llevar a su cargo y bajo su responsabilidad el Control de Calidad de producción.

El Constructor deberá facilitar, a su cargo, al Laboratorio de Control designado por la Propiedad, las muestras de los distintos materiales necesarios, para la realización de los ensayos que se relacionan, así como aquellos otros que estimase oportuno ordenar la Dirección Facultativa. Con el fin de que la realización de los ensayos no suponga obstáculo alguno en la buena marcha de la obra, las distintas muestras de materiales se entregarán con antelación suficiente, y que como mínimo será de 15 días más el propio tiempo de realización del ensayo.

Por lo que respecta a los controles de ejecución sobre unidades de obra, bien en periodo constructivo, bien terminadas, el Constructor facilitará al Laboratorio de Control todos los medios auxiliares y mano de obra no cualificada, que precise para la realización de todos los ensayos y pruebas.

El incumplimiento de cualquiera de las condiciones fijadas para los materiales conducirá al rechazo de los mismos en la situación en que se encuentren, ya sea en almacén, bien acoplado en la obra, o colocado,

siendo de cuenta del Constructor los gastos que ocasionase su sustitución. En este caso, el Constructor tendrá derecho a realizar a su cargo, un contraensayo, que designará el Director de Obra, y de acuerdo con las instrucciones que al efecto se dicten por el mismo. En base a los resultados de este contraensayo, la Dirección Facultativa podrá autorizar el empleo de este material en cuestión, no pudiendo el Constructor plantear reclamación alguna como consecuencia de los resultados obtenidos del ensayo origen.

Ante un supuesto caso de incumplimiento de las especificaciones, y en el que por circunstancias de diversa índole, no fuese recomendable la sustitución del material, y se juzgase como de posible utilización por parte de la Dirección Facultativa, previo el consentimiento de la Propiedad, el Director de Obra podrá actuar sobre la devaluación del precio del material, a su criterio, debiendo el Constructor aceptar dicha devaluación, si la considera más aceptable que proceder a su sustitución. La Dirección Facultativa decidirá si es viable la sustitución del material, en función de los condicionamientos de plazo marcados por la Propiedad.

#### **5.6. Medición, valoración y abono de las unidades de obra**

Se indica a continuación el criterio adoptado para la realización de las mediciones de las distintas unidades de obra, así como la valoración de las mismas.

El Constructor deberá aportar el estudio de sus precios unitarios a los criterios de medición que aquí se expresan, entendiéndose que las cantidades ofertadas se corresponden totalmente con ellas.

En caso de indefinición de alguna unidad de obra, el constructor deberá acompañar a su oferta las aclaraciones precisas que permitan valorar el alcance de la cobertura del precio asignado, entendiéndose en otro

caso que la cantidad ofertada es para la unidad de obra correspondiente totalmente terminada y de acuerdo con las especificaciones.

Si por omisión apareciese alguna unidad cuya forma de medición y abono no hubiese quedado especificada, o en los casos de aparición de precios contradictorios, deberá recurrirse a Pliegos de Condiciones de Carácter General, debiéndose aceptar en todo caso por el Constructor, en forma inapelable, la propuesta redactada a tal efecto por el Director de Obra.

A continuación se especifican los criterios de medición y valoración de las diferentes unidades de obra.

#### **5.6.1. Tuberías en general**

Se medirán y abonarán por metro lineal (ml) realmente ejecutados sobre unidad de obra (Ud) totalmente terminada, sin incremento alguno por empalmes o enchufes, piezas especiales, etc. que quedará incluido en el metro lineal especificado.

El precio comprende los materiales, mano de obra, medios auxiliares, etc. necesarios para dejar completamente terminada la unidad. Incluye así mismo, la base de asiento según las especificaciones del proyecto u órdenes de la Dirección de Obra, realización de corchetes de ladrillo, fijaciones, etc.

#### **5.6.2. Aislantes**

Se medirán por m<sup>2</sup> de superficie tratada o revestida. El precio incluye todos los materiales, mano de obra, medios auxiliares y operaciones precisas para dejar totalmente terminada la unidad.

No se abonarán los solapes que deberán contabilizarse dentro del precio asignado.

### **5.6.3. Pinturas y barnices**

Se medirá y abonará por m<sup>2</sup> de superficie real, pintada, efectuándose la medición de acuerdo con las formas siguientes:

- Pinturas sobre muros, tabiques, techos: se medirá descontándose huecos. Las molduras se medirán por superficie desarrollada.
- Pinturas sobre tuberías: se medirá por ml con la salvedad antes apuntada.

En los precios unitarios respectivos, está incluido el coste de los materiales, mano de obra, operaciones y medios auxiliares que sean precisos para obtener una perfecta terminación, incluso la preparación de superficies, limpieza, lijado, plastecido, etc., previos a la aplicación de la pintura.

### **5.6.4. Alcance de los precios**

El precio de cada unidad de obra suministrado por el contratista que afecta a obra civil y/o instalación, equipo, máquina, etc., abarca:

- Todos los gastos de extracción, aprovisionamiento, transporte, montaje, pruebas en vacío y carga, muestras, ensayos, control de calidad, acabado de materiales, equipos y obras necesarios, así como las ayudas de albañilería, electricidad, fontanería y de cualquier otra índole que sean precisas.
- Todos los gastos a que dé lugar el personal que directa o indirectamente intervengan en su ejecución y todos los gastos relativos a medios auxiliares, ayudas, seguros, gastos generales, gravámenes fiscales o de otra clase e indemnizaciones o abonos por cualquier concepto, entendiendo que la unidad de obra quedará total y perfectamente terminada y con la calidad que se

exige en el proyecto, y que, en todo caso, tiene el carácter de mínima.

No se podrá reclamar, adicionalmente a una unidad de obra, otras en concepto de elementos o trabajos previos y/o complementarios, a menos que tales unidades figuren medidas en el presupuesto.

#### **5.6.5. Relaciones valoradas**

Por la Dirección Técnica de la Obra se formarán mensualmente relaciones valoradas de los trabajos ejecutados, contados preferentemente “al origen”. Descontando de la relación de cada mes el total de los meses anteriores, se obtendrá el volumen mensual de Obra ejecutada.

El Constructor podrá presenciar la toma de datos para extender dichas relaciones valoradas, disponiendo de un plazo de seis días naturales para formular las reclamaciones oportunas, transcurridos los cuales sin objeción alguna, se le reputará total y absolutamente conforme a ellas.

Para el computo de este plazo se tomará como fecha la de la medición valorada correspondiente.

Estas mediciones valoradas, por lo que a la Propiedad y Dirección Facultativa se refiere, solo tendrán carácter provisional, no entrañando aceptación definitiva ni aprobación absoluta.

#### **5.6.6. Obra que tiene derecho a percibir el constructor**

El Constructor tiene derecho a percibir el importe a Precio de Presupuesto o Contradictorios, en su caso, de todas las unidades que realmente ejecute, sean inferiores, iguales o superiores a las consignadas en el Proyecto salvo pacto en contrario siempre que respondan a éste o lo

hayan sido expresamente ordenadas por escrito por la Dirección Técnica, según ha quedado establecido en el artículo correspondiente.

#### **5.6.7. Pago de las obras**

El pago de las obras se verificará por la Propiedad contra certificación aprobada, expedida por la Dirección Facultativa de ellas.

Los pagos dimanantes de liquidaciones tendrán el carácter de anticipos “a buena cuenta”, es decir, que son absolutamente independientes de la liquidación final y definitiva de las obras, quedando pues sujetas a rectificación, verificación o anulación si procedieran.

En ningún caso salvo en el de rescisión, cuando así convenga a la Propiedad, serán a tener en cuenta, a efectos de liquidación, los materiales acopiados a pie de obra ni cualesquiera otros elementos auxiliares que en ella estén interviniendo.

Serán de cuenta del Constructor cuantos gastos de todo orden se originen a la Administración, a la Dirección Técnica o a sus Delegados para la toma de datos y redacción de las mediciones u operaciones necesarias para abonar total o parcialmente las obras.

Terminadas las obras se procederá a hacer la liquidación general que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyen la totalidad de la obra.

El presente Pliego General consta de 33 páginas, es suscrito en prueba de conformidad por la Propiedad y el Contratista en cuadruplicado ejemplar, uno para cada una de las partes, el tercero, para el Ingeniero Director y el cuarto para el expediente del Proyecto depositado en el Colegio Oficial de Ingenieros que corresponda, el cual conviene que hará fe de su contenido en caso de dudas o discrepancias.

# **PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

## **6. Pliego de condiciones particulares**

### **INDICE:**

<b>6.1 Reactor</b>	<b>174</b>
<b>6.2 Conducciones</b>	<b>174</b>
<b>6.3 Aislamiento</b>	<b>175</b>
<b>6.4 Recipientes de almacenamiento</b>	<b>175</b>
<b>6.5 Bomba y compresor</b>	<b>177</b>
<b>6.6 Válvulas y conexiones</b>	<b>177</b>
<b>6.7 Separador Gas-Líquido</b>	<b>177</b>
<b>6.8 Condiciones de almacenamiento</b>	<b>177</b>

## **6. Pliego de Condiciones Particulares.**

### **6.1 Reactor**

Conducción de  $\frac{3}{4}$  pulgada con diámetro externo de 19,05 mm y de 12,32 mm de diámetro interno, según norma ANSI B36.1. Espesor de pared de 6,73 mm. Tolerancia de fabricación en diámetro externo de 0,995/0,990 pulgadas. Material Acero Inoxidable AISI 316L, según norma ANSI B31.1.

Los ensayos, controles e inspecciones especificados por dichas normas serán realizados por el proveedor, entregándose a la dirección una copia de los resultados de los mismos.

### **6.2 Conducciones**

Las conducciones empleadas en la instalación son las siguientes:

- a)  $\frac{1}{4}$  de pulgada con diámetro externo de 6,35 mm, y 4,18 mm de diámetro interno, según norma ANSI B36.1. Tolerancia máxima de fabricación 0,254/0,258. . Material Acero Inoxidable AISI 316l, según norma ANSI B31.1.
- b)  $\frac{3}{8}$  de pulgada de diámetro externo de 9,53 mm, y 6,18 mm de diámetro interno, según norma ANSI B36.1. Tolerancia máxima de fabricación 0,557/0,552. . Material Acero Inoxidable AISI 316l, según norma ANSI B31.1.
- c)  $\frac{3}{4}$  pulgada de diámetro externo de 19,05 mm y de 12,32 mm de diámetro interno, según norma ANSI B36.1. Espesor de pared de 6,73 mm. Tolerancia de fabricación en diámetro externo de 0,995/0,990 pulgadas. Material Acero Inoxidable AISI 316L, según norma ANSI B31.1.

Los ensayos, controles e inspecciones especificados por dichas normas serán realizados por el proveedor, entregándose a la dirección una copia de los resultados de los mismos.

### **6.3 Aislamiento**

El material empleado como aislante es una manta cerámica de la casa comercial Unifrax. Concretamente se trata de Fiberfrax Durablanket S con una composición de 43-47%  $Al_2O_3$  y 53-57%  $SiO_2$ . Deberá cumplir con los requisitos exigidos en la norma BS-2958.

Recubrimiento protector. Será preparado a base de cemento y agua limpia, en la debida proporción. La preparación de cemento y agua estará mezclada con una fibra de amianto de adecuada longitud y resistencia, que constituya un 40-50 % en peso de la mezcla. También pueden emplearse alguno de sus derivados específicos para este tipo de aplicación.

Malla de alambre, alambre y fleje para enrollar. La malla de alambre será de acero galvanizado de 25 mm x 1 mm. El alambre para enrollar será de no menos de 1 mm de espesor en acero suave galvanizado. Los flejes en acero galvanizado serán de 20 mm x 0,5 mm.

### **6.4 Recipientes de almacenamiento**

#### a) Depósito almacenamiento emulsión taladrinas

Para la alimentación líquida de la planta se cuenta con dos tanques, uno para el residuo acuoso a tratar que es de polipropileno con soldadura por electrofusión extrusionada continua verificada al arco de alto voltaje y otro para el agua de fibra de vidrio. Cada uno de los tanques tiene un volumen de 100 l.

Dimensiones: Altura 1000 mm. Diámetro 637 mm. Espesor 4 mm.  
Peso 15 kg.

Deberá cumplir la siguiente legislación:

Ordenanza General de Higiene y Seguridad en el Trabajo.  
Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.

Deberá cumplir todos los requisitos técnicos recogidos en el capítulo *Memoria Descriptiva*, los cuales han sido suministrados por el fabricante bajo su responsabilidad.

b) Depósito almacenamiento aire comprimido

Material. Acero 16 Cr 12 Ni 2 Mo Tipo SA304.

Dimensiones: Véase *Memoria Descriptiva*.

Deberá cumplir la siguiente legislación:

Reglamento de Aparatos a Presión.  
Ordenanza General de Higiene y Seguridad en el Trabajo.  
Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.  
Norma Básica de la Edificación NBE-EA.

Deberá cumplir todos los requisitos técnicos recogidos en el capítulo *Memoria Descriptiva*, los cuales han sido suministrados por el fabricante bajo su responsabilidad.

### **6.5 Bomba y Compresor**

Deberán cumplir todos los requisitos técnicos recogidos en el capítulo *Memoria Descriptiva*, los cuales han sido suministrados por el fabricante bajo su responsabilidad.

### **6.6 Válvulas y conexiones**

Las válvulas, tes y los conectores y adaptadores estarán realizados en acero AISI 16 Cr 12 Ni 2 Mo Tipo SA269 Grado TP316. Deberán cumplir con los requisitos técnicos recogidos en el capítulo *Memoria Descriptiva*, los cuales han sido suministrados por el fabricante bajo su responsabilidad.

Las válvulas deberán cumplir con la norma ANSI B16.5.

Las válvulas deberán cumplir con la norma ANSI B16.34.

### **6.7 Separador Gas-Líquido**

Deberá cumplir con todos los requisitos técnicos recogidos en la Memoria Descriptiva. Además, deberá estar sujeto a la Normativa que en dicha memoria se detalla, y será diseñado y fabricado de acuerdo a los requerimientos específicos de la citada normativa.

### **6.8 Condiciones de almacenamiento**

Todos los materiales deberán mantenerse en condiciones de almacenamiento limpias y protegidas. No deben colocarse pesos encima de los materiales aislantes.

Todos los puntos que no hayan sido tratados de forma específica como fabricación, ensamble, soldadura, soportes, instalación, examen, inspección y prueba, sin excluir otros, deberán cumplir los requisitos de la

norma ASME B31.1, así como cuantas disposiciones legales entren en vigencia en el periodo entre la conclusión del presente proyecto y el comienzo de las obras de ejecución.

# **Estudio de Seguridad y Salud**

## **7. Estudio de Seguridad y Salud**

### **INDICE:**

<b>7.1 Estudio de Seguridad y salud para el funcionamiento normal de la planta.</b>	<b>179</b>
<b>7.1.1 Evaluación de riesgos</b>	<b>179</b>
<b>7.1.2 Identificación de riesgos</b>	<b>180</b>
<b>7.1.3 Identificación de los trabajadores expuestos a tales riesgos</b>	<b>181</b>
<b>7.1.4 Análisis de posibles medidas para controlar los riesgos</b>	<b>181</b>
<b>7.1.4.1 Explosión física del sistema</b>	<b>181</b>
<b>7.1.4.1.1 Efectos de una explosión física</b>	<b>185</b>
<b>7.1.4.2 Fugas por la rotura de alguno de los elementos de conducción</b>	<b>191</b>
<b>7.1.4.3 Contactos Térmicos</b>	<b>194</b>
<b>7.1.4.4 Contactos Eléctricos</b>	<b>196</b>
<b>7.1.4.5 Contactos con sustancias toxicas</b>	<b>196</b>
<b>7.1.4.6 Exposición a temperaturas externas</b>	<b>197</b>
<b>7.1.4.7 Agentes físicos: ruido, vibraciones, etc.</b>	<b>197</b>
<b>7.1.4.8 Caída de objetos por manipulación</b>	<b>198</b>
<b>7.1.4.9 Incendio en cuadro eléctrico</b>	<b>198</b>
<b>7.1.5 Valoración de los riesgos existentes según las medidas adoptadas.</b>	<b>199</b>
<b>7.2 Seguridad en la planta piloto.</b>	<b>203</b>
<b>7.2.1 Seguridad estructural</b>	<b>203</b>
<b>7.2.2 Espacio de trabajo y zonas peligrosas</b>	<b>204</b>
<b>7.2.3 Tabiques, paredes y techos</b>	<b>204</b>
<b>7.2.4 Salidas y vías de evacuación</b>	<b>205</b>

<b>7.2.5 Condiciones de protección contra incendios</b>	<b>205</b>
<b>7.2.6 Instalaciones eléctricas</b>	<b>206</b>
<b>7.2.7 Condiciones ambientales</b>	<b>207</b>
<b>7.2.8 Iluminación</b>	<b>208</b>
<b>7.3 Residuos tóxicos y peligrosos</b>	<b>208</b>
<b>7.3.1 Almacenamiento de Residuos tóxicos y peligrosos</b>	<b>208</b>
<b>7.3.2 Manipulación de residuos tóxicos y peligrosos</b>	<b>209</b>
<b>7.3.3 Etiquetado de residuos tóxicos y peligrosos</b>	<b>210</b>
<b>7.3.4 Medidas de protección individuales e higiene personal</b>	<b>210</b>
<b>7.4 Legislación aplicada al presente estudio</b>	<b>211</b>
<b>Anexo III: Documentación de Bureau Veritas</b>	<b>212</b>

## **7. Estudio de seguridad y salud**

### **7.1 Estudio de seguridad y salud para el funcionamiento normal de la planta.**

En el proceso OASC se lleva a cabo la oxidación en condiciones de alta presión y temperatura de las taladrinas contenidas en aguas residuales procedentes del mecanizado de piezas metálicas hasta sus compuestos finales ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Las severas condiciones de operación de la planta hacen de ella un sistema de especial peligrosidad. Sin embargo, con los controles periódicos necesarios y las medidas de seguridad adecuadas, así como el cuidado y la atención de los trabajadores en la prestación de sus servicios, es posible hacer de la planta un sistema seguro que no entrañe riesgos especialmente altos.

#### **7.1.1 Evaluación de riesgos**

La evaluación de los riesgos debe constar fundamentalmente de las siguientes etapas:

- a) Identificación de los riesgos y de sus factores
- b) Identificación de los trabajadores expuestos a éstos.
- c) Análisis de las posibles medidas para eliminarlos y controlarlos.
- d) Valoración de los riesgos existentes según las medidas adoptadas.

A continuación se procede a la identificación de los riesgos principales, para realizar un estudio más detallado de los mismos y su posterior análisis, así como determinar las medidas de seguridad que deben adoptarse en el sistema. Además, se efectuará una valoración de tales riesgos que permitirá conocer la importancia de los mismos y obtener los datos acerca de su alcance y naturaleza, con el fin de tomar las medidas de control más adecuadas. La gravedad de los riesgos se determina mediante el cálculo o apreciación de la probabilidad de que se materialice conjuntamente con la severidad del daño esperado.

### **7.1.2 Identificación de riesgos**

Los riesgos principales durante el funcionamiento normal de la instalación son los siguientes:

- Explosión física del sistema.
- Fugas por rotura de algunos de los elementos de conducción.
- Contactos térmicos.
- Contactos eléctricos.
- Contactos con sustancias tóxicas.
- Exposición a temperaturas extremas.
- Agentes físicos: ruido, vibraciones, etc.
- Caída de objetos por manipulación.
- Incendio en cuadro eléctrico.

El riesgo de incendio en esta instalación es sumamente bajo, y reside en el cuadro eléctrico ya que el residuo tratado posee una concentración muy baja de elementos combustibles, los cuales además se encuentran disueltos en agua, lo que hace prácticamente imposible su entrada en combustión.

### **7.1.3 Identificación de los trabajadores expuestos a tales riesgos.**

Los trabajadores expuestos son todos aquellos que circunden los alrededores de la zona donde se ubicará la planta piloto así como el personal necesario para el control y mantenimiento diario de la planta y la adquisición de datos.

A todos estos trabajadores así como aquellos que formen parte de la sección en que está ubicada la planta, aun sin estar en contacto directo con ella, será necesario informarles sobre los riesgos para su seguridad y salud, así como las medidas que deben seguir para evitarlos. Por esta razón, cada trabajador debe estar informado de los riesgos generales y específicos y de las medidas preventivas que se deben adoptar tanto en situación de normalidad como en caso de emergencia. Además se debe garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva, tanto en el momento de la contratación como cuando se produzca cambios en las funciones que desempeñe, en los equipos de trabajo o se introduzca nueva tecnologías.

### **7.1.4 Análisis de posibles medidas para controlar los riesgos.**

#### **7.1.4.1 Explosión física del sistema.**

La explosión física del sistema puede producirse por tres causas claramente diferenciadas, aunque las tres están íntimamente relacionadas:

- Aumento de la presión del sistema.

Si por cualquier causa existe un aumento de la presión del sistema por encima de las condiciones de diseño, y no existen elementos que de forma automática efectúen la parada del sistema o disminuyan la presión, existe una probabilidad elevada de producirse dicha explosión física.

Un aumento de presión sólo puede producirse, a priori, por un funcionamiento defectuoso de la válvula encargada de regular la presión del sistema y por atascamiento de alguna de las conducciones. Para minimizar este riesgo se empleará una válvula que quede en posición segura en caso de fallo en su funcionamiento (abierta). Por otra parte el sistema esta provisto de una serie de sensores de presión en diferentes puntos de la planta que permitirán controlar en todo momento y de forma automática la presión en el sistema. Estos sensores estarán conectados a un controlador que efectuará la regulación de dichas válvulas.

Si se produce un atascamiento en alguna de las conducciones (incluyendo intercambiadores de calor y reactor), dicho controlador, por el aumento de presión, efectuará el paro inmediato del proceso para permitir el desatascamiento de las conducciones afectadas.

A pesar de esto, se instalará una válvula de seguridad encargada de realizar una descarga a la atmósfera en caso de que la presión supere los 300 bar delante de la válvula reguladora de la presión. Como medida de seguridad adicional también se instalarán discos de ruptura en diversos puntos, cuyo objetivo primordial es imposibilitar el aumento de presión por encima de los 300 bar.

Por otra parte, tanto el compresor encargado de proporcionar el aire necesario para la oxidación como la bomba dosificadora de alta presión que impulsa la corriente líquida a la presión de trabajo dispondrán de presostato regulables encargados de provocar la desconexión de tales aparatos en el caso de ser alcanzados los niveles máximos de presión permitidos.

De ésta forma es necesario el fallo simultáneo de 5 elementos (válvula reguladora de presión, sensores y controlador, válvula de seguridad, discos de ruptura y presostatos de la bomba y compresor) para que se alcancen unas condiciones que puedan conducir a la rotura del sistema por sobrepresión y por tanto a la explosión física anteriormente comentada.

- Aumento de la temperatura del sistema.

Un aumento de la temperatura provoca un descenso en las propiedades mecánicas de los materiales, pudiendo producirse la rotura a presiones inferiores a la presión de diseño (275 bar). Tal aumento de la temperatura puede producirse por dos causas:

- Introducción en el proceso de un residuo con una concentración de materia oxidable o una entalpía de reacción superiores a las establecidas.
- Operación inadecuada de la planta de forma que se precaliente en exceso la alimentación del sistema durante el proceso de arranque.

Para evitar situaciones peligrosas se instalarán sensores de temperatura en diferentes puntos de la planta, como por ejemplo a la entrada y a la salida del reactor y de los intercambiadores de calor. La salida del reactor es el punto de mayor temperatura del sistema, por lo que hay que tener especial cuidado. Para el reactor, los intercambiadores y este punto del sistema de conducción se ha elegido un material altamente resistente como el Acero Inoxidable AISI 316L. Existen otros materiales muy adecuados para esta aplicación pues soportan muy bien las condiciones de presión y temperatura de la planta (250 bar y 873 K y además son más resistentes a la corrosión), como los aceros inconel y hastelloy, pero su precio es mucho más elevado y encarecería en exceso la planta piloto.

Los sensores permanecerán conectados a controladores que actuarán sobre determinadas válvulas o sobre los propios sistemas de impulsión, es decir, sobre la bomba y el compresor. Si en el sistema se excede de los 900 K se producirá la desconexión automática de la bomba de alimentación y del compresor de aire para detener el proceso.

Por seguridad en aspectos térmicos, será necesario efectuar controles sobre la emulsión de taladrinas a tratar cuidando de manera específica parámetros como la DQO, que no podrá sobrepasar los 200 gO<sub>2</sub>DQO/l y la entalpía de reacción de la sustancia a tratar, que no deberá exceder de los 15000 kJ/mol. El residuo a tratar debe ser apto para las condiciones de diseño del sistema.

- Corrosión del sistema provocando la rotura del mismo.

Como se ha descrito en la Memoria General, las condiciones de operación son extremadamente severas y altamente oxidantes, por lo que es probable que se produzca la corrosión de algunos elementos de la planta tras un uso prolongado. Este riesgo afecta básicamente al reactor y a la zona de salida del efluente tras la reacción.

Para prevenir el problema de la corrosión se ha empleado un material (Acero AISI 316) cuya resistencia a las condiciones de operación ha sido comprobada experimentalmente de forma satisfactoria para residuos sin altos contenidos en cloruros y sales.

El reactor estará dotado además de un sistema de medida de presión diferencial entre la entrada y la salida para que puedan detectarse eventuales problemas de atascamiento y proceder a la parada y mantenimiento del mismo. Este sistema permite a su vez la detección de posibles fugas.

#### 7.1.4.1.1 Efectos de una explosión física.

Debido a la elevada presión del sistema y a su volumen se han evaluado los efectos producidos por una rotura catastrófica. Para estudiar el efecto de la explosión se emplea el modelo equivalente en TNT. Este modelo establece que los efectos de dos explosiones son los mismos si se encuentran a la misma distancia reducida.

Las distancias reducidas vienen dadas por la expresión siguiente:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W_{TNT}}}$$

donde

$Z$  = distancia reducida ( $m \cdot kg^{-1/3}$ ).

$R$  = distancia real (m).

$W_{TNT}$  = masa de TNT en kg equivalentes (masa de TNT que libera la misma energía que la explosión considerada). 1Kg de TNT = 4680 KJ.

Los efectos de rotura son:

Formación de Proyectiles: la proyección de partículas de diferentes masa y velocidad (no modelizable a priori), de gran peligrosidad por su alta velocidad, causando daños directos y efecto domino.

Formación de una onda de choque que se modelizará con el modelo equivalente en TNT.

Para calcular la masa de TNT equivalente se emplea la siguiente expresión donde suponemos una expansión isotérmica del gas al romperse el recipiente:

$$W_{TNT} = 2,19 * 10^{-5} * P_1 * V_1 * \ln \frac{P_1}{P_2}$$

donde:

$W_{TNT}$  = masa de TNT en kg equivalentes.

$P_1$  = presión inicial antes de la rotura (250 bar = 246,731 atm)

$P_2$  = presión después de la rotura (1 atm)

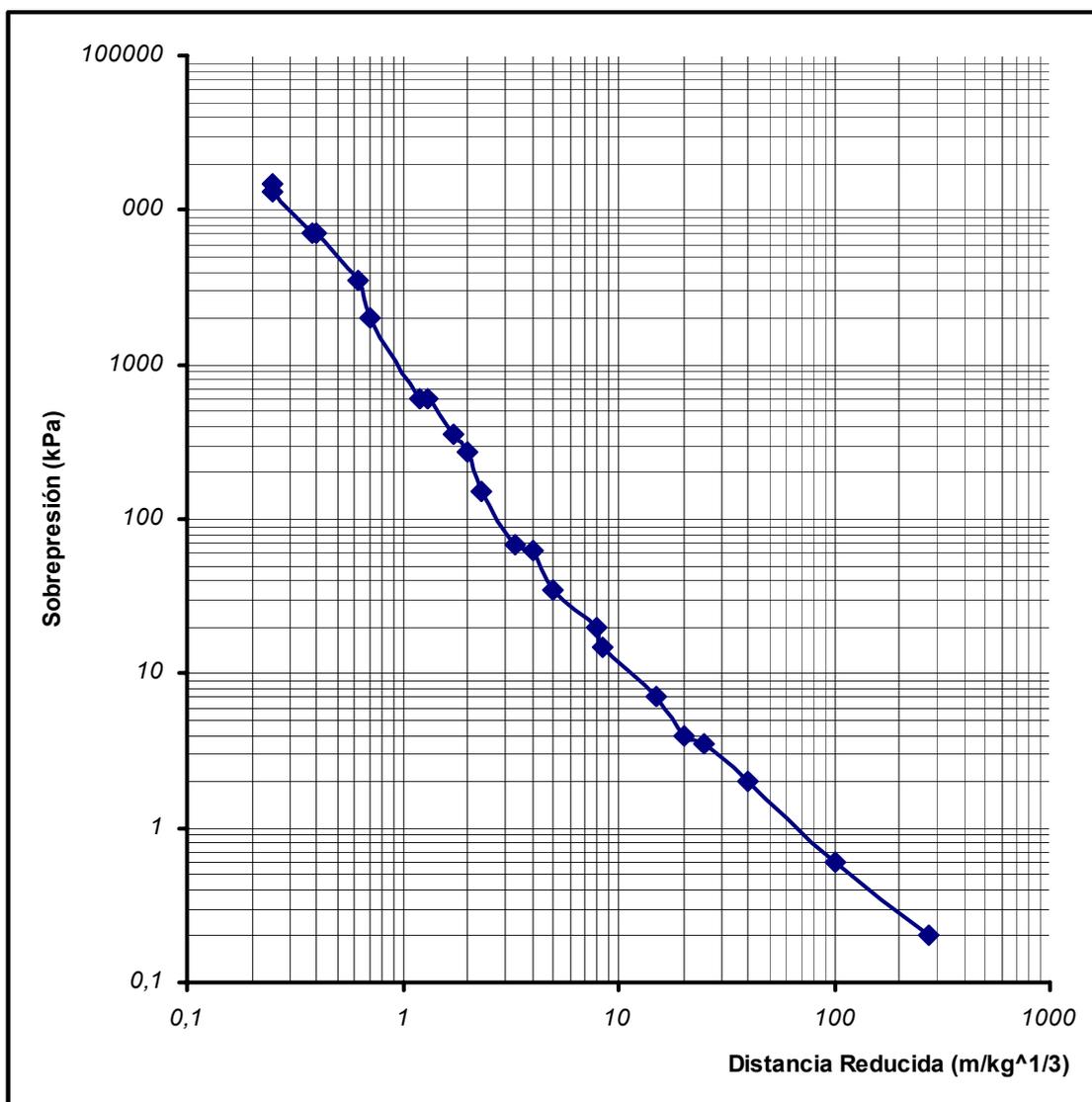
$V_1$  = volumen del recipiente en litros. Como volumen del recipiente se ha considerado el volumen del reactor (1,23 l)

Luego en este caso tendremos una  $W_{TNT} = 0,03661$  kg TNT equivalente.

Conociendo el valor de  $Z$  se puede estimar el valor del pico de sobrepresión  $P^\circ$  en función de la distancia mediante una gráfica logarítmica y empleando la tabla que relaciona los daños provocados podemos ver cuales serían provocados por nuestra explosión.

Distancia real (m)	Distancia Reducida (m/kg <sup>1/3</sup> )	Sobrepresión (kPa)	Sobrepresión (psi)
1	3,011621849	100	14,5
2	6,023243697	22	3,2
3	9,034865546	15	2,175
4	12,04648739	9	1,305
5	15,05810924	7	1,015
6	18,06973109	5	0,725
7	21,08135294	4,5	0,653
8	24,09297479	3,5	0,508
9	27,10459664	3	0,435
10	30,11621849	2,5	0,363
15	45,17432773	1,7	0,247
20	60,23243697	1	0,145
25	75,29054622	0,8	0,116
30	90,34865546	0,7	0,102
35	105,4067647	0,6	0,087
40	120,4648739	0,5	0,073
45	135,5229832	0,4	0,058
50	150,5810924	0,4	0,058
75	225,8716387	0,3	0,044
100	301,1621849	0,3	0,044
125	376,4527311	0,3	0,044

**Tabla 18:** Sobrepresión- Distancia reducida- Distancia real



**Gráfica 39: Sobrepresión frente a Distancia reducida**

Daños producidos por las explosiones en función de la sobrepresión.

<b>Sobrepresión (psi)</b>	<b>Tipo de daño</b>
0,03	Rotura ocasional de cristales grandes sometidos a tensiones.
0,04	Ruido fuerte. Rotura de cristales por la onda sonora.
0,1	Rotura de cristales pequeños sometidos a tensión.
0,3	95% de probabilidad de no sufrir daños importantes. Daños menores a techos de casas. Rotura de 10% de los cristales.
0,5-1,0	Destrucción de ventanas, con daño a los marcos.
0,7	Daños estructurales menores en las casas.
1,0	Demolición parcial de casas, que quedan inhabilitables.
1-2	Fallo de paneles y mamparas de madera aluminio, etc.
2	Colapso parcial de paredes y techos de casas.
2-3	Destrucción de paredes de cemento de 20 a 30 cm de grosor.
2,4	Umbral (1%) de ruptura de tímpano.
2,5	Destrucción del 50% de la obra de ladrillo en edificaciones. Distorsiones en estructuras de acero.
3-4	Ruptura en tanques de almacenamiento.
5-7	Destrucción prácticamente completa de casas.
7	Vuelcan vagones de tren cargados.
7-8	Rotura de paredes de ladrillo de 20 a 30 cm de grosor.
10	Probable destrucción total de edificios. Maquinas pesadas (3.500 kg) desplazadas y fuertemente dañadas.
12,2	90% de probabilidad de ruptura de tímpano
14,5	Umbral 1% de muerte por hemorragia pulmonar.
25,5	90% de probabilidad de muerte por hemorragia pulmonar.
280	Formación de cráter.

**Tabla 19:** Sobrepresión – Tipo de daño

Se puede apreciar que a una distancia de 10 m se producen daños equivalentes a destrucción de ventanas o daños a los marcos, etc. A una distancia de 4 metros se esta fuera del umbral (1%) de rotura de tímpano. Para sobrepasar el umbral de muerte por hemorragia pulmonar habría que encontrarse a menos de 2 metros de la planta en el momento de la explosión. A 40 metros no existe sobrepresión.

Para ver si el recipiente soportará la explosión hay que tener en cuenta dos parámetros: la presión máxima que se alcanza y la velocidad de aumento de la misma.

### **Presión máxima:**

Se calcula empleando la ley de los gases perfectos, con el volumen constante:

$$P_{max} = P_{int} \frac{n_{fin} T_{fin}}{n_{ini} T_{ini}}$$

- Aumenta linealmente con la presión inicial.
- Aumenta al disminuir la temperatura inicial (para igualdad de presión).
- Depende de la composición de la mezcla, alcanzando un máximo en condiciones estequiométricas.
- Disminuye con la presencia de inertes.

En los recipientes a presión, la ruptura ocurre cuando la presión es de tres a cuatro veces la máxima presión permisible de trabajo, MAWP. Desde

el punto de vista de seguridad, se considera probable la ruptura cuando la presión es sólo de 2,5 veces este valor.

$P_{max} > 3-4 \text{ MAWP}$ : rotura del recipiente

$P_{max} > 2,5 \text{ MAWP}$ : rotura probable

Velocidad de aumento de la presión

Es importante a la hora de diseñar los sistemas de alivio que permitan ventear los gases de la explosión, disminuyendo la presión y evitando la rotura del recipiente.

Al contrario que la presión máxima, el gradiente de presión aumenta al aumentar la temperatura inicial ya que ésta aumenta la velocidad de reacción y por lo tanto la velocidad a la que se generan los gases de combustión. También depende del volumen del recipiente, disminuyendo al aumentar éste.

#### **7.1.4.2 Fugas por la rotura de alguno de los elementos de conducción.**

Una fuga en el sistema de conducción de la planta puede producirse como consecuencia de una rotura de alguno de los elementos que la componen, si bien es cierto que también puede generarse a causa de un mal ajuste en el proceso de conexión entre conductos, válvulas y codos. Por tal motivo, en el transcurso de la instalación, hay que tener especial cuidado de que tales puntos del sistema queden perfectamente estancos.

Una fuga puede producirse por alguna de las 4 causas siguientes:

- Corrosión de los elementos de conducción.

Las severas condiciones de operación así como las características del medio de reacción hace que éste sea altamente oxidante. Ni si quiera el empleo de materiales como el Acero AISI 316L permite desentenderse de los problemas de corrosión existentes en la planta. El uso de materiales como inconel o hastelloy, que soportan mejor las condiciones corrosivas del medio, tampoco eliminan la posibilidad de generarse defectos en la superficie interior del material que pueden ocasionar una fuga, aunque si es posible que permanezcan más tiempo inalterados.

Así que la elección del material se ha hecho pensando en que, tras ciertos periodos de operación de la planta, será inevitable el cambio de algunas conducciones y válvulas, y dado que estos materiales que soportan mejor las condiciones corrosivas del medio son bastantes más caros que el material seleccionado, se presupone más rentable el uso del Acero 316.

Los elementos con mayor posibilidad de sufrir un serio desgaste son el reactor y aquellos elementos de conducción que conducen el efluente hacia los intercambiadores de calor (tes, válvulas, codos, etc.) que son las zonas que operan en condiciones más severas y con la presencia de oxidantes.

Por tanto, para evitar situaciones en las que es probable que se produzca una fuga, será necesario revisar periódicamente el espesor de tales elementos durante los tiempos de parada de la planta. Si el espesor disminuye con respecto al espesor de diseño, se debe proceder al cambio de las piezas defectuosas.

Por otra parte, existen algunos tipos de taladrinas que pueden llevar componentes tales como compuestos tóxicos clorados, y puesto que la combinación de cloro, oxígeno y agua supercrítica es altamente corrosiva, será necesario verificar que el residuo tratado no contenga dichos compuestos.

Otra medida preventiva es el empleo de muros pantalla. Se propone ubicar la planta piloto en unas zonas donde existen dos muros de hormigón armado perpendiculares entre sí, los cuales aseguran por la zona posterior a los mismos cualquier incidente provocado por una posible fuga. Además, delante de la planta se instalara un muro de cristal blindado 6+6, que permitirá la visualización de todos los elementos de la planta desde el exterior, incrementando la seguridad de las personas circundantes. El muro de cristal blindado 6+6 tendrá un espesor suficiente para minimizar los efectos que puedan producirse en caso de fallo de alguno de los elementos de conducción. No se ha detallado en el presente proyecto los cálculos del espesor del muro-pantalla por considerarse fuera de los objetivos del mismo.

Como medida de control adicional, existen sensores de presión insertados en diferentes puntos de la planta. Al igual que, como se ha visto anteriormente, tales sensores permiten la actuación de emergencia en caso de sobrepresión. Igualmente los controladores automáticos efectúan la parada del compresor y de la bomba en caso de que los sensores detecten variaciones notables en los niveles de presión de la planta (depresiones).

- Conexión defectuosa de los elementos de conducción.

Como ya se ha mencionado, durante el proceso de instalación y construcción de la planta, resulta de gran importancia la conexión entre los diferentes elementos que la componen. Hay que prestar especial atención a todas y cada una de las conexiones para asegurar su total estanqueidad.

Como norma de seguridad general, será preciso hacer pruebas del funcionamiento de la planta una vez finalizado el proceso de instalación, utilizando caudales pequeños y presiones bajas, para ir incrementándolos progresivamente una vez seguros del funcionamiento correcto. En principio, lo mejor será utilizar agua pura como alimentación líquida, a bajas temperaturas, e ir incrementando la presión progresivamente sin modificar la

temperatura. De este modo en la instalación en estudio se realizaron pruebas de estanqueidad a 1,5 veces la presión de trabajo (375 bar) consiguiendo el certificado por Bureau Veritas Español, S.A. En el anexo II puede apreciarse la documentación que certifica estas pruebas.

Posteriormente sería adecuado hacer varias pruebas esta vez incrementando la temperatura y manteniendo una presión moderada. Posteriormente se procederá a la inserción del oxidante (aire), primero sin permitir la entrada de alimentación líquida, elevando presión y temperatura.

Durante este proceso es conveniente fijarse en el correcto funcionamiento de los sensores, válvulas y demás accesorios, para eliminar cualquier posible duda del funcionamiento de éstos durante el proceso de prueba en otras condiciones.

Una vez comprobado el funcionamiento de la planta de forma correcta y totalmente segura, se podrá proceder a realizar diversas pruebas permitiendo ya que la reacción de oxidación tenga lugar. Para ello será muy conveniente utilizar compuestos preferentemente conocidos y suficientemente ensayados a nivel de laboratorio.

- Además de estos dos posibles causas de fugas, tenemos las ya nombradas como consecuencia del aumento de presión y temperatura del sistema.

#### **7.1.4.3 Contactos Térmicos.**

Los riesgos que se especificarán de aquí en adelante son de menor importancia, por lo que no se estudiarán tan a detalle como los anteriores, aunque si es conveniente mencionarlos.

En este caso, el riesgo por contacto térmico es casi nulo, puesto que todos los elementos que permanecen durante el funcionamiento de la planta a altas temperaturas van aislados térmicamente por requerimientos de diseño de la planta. El material aislante empleado es una manta térmica de la casa comercial Unifrax. Concretamente se trata de Fiberfrax Durablanket S con una composición de 43-47%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 53-57%  $\text{SiO}_2$ , que estará en contacto con el tubo.

De esta manera, el riesgo ante cualquier situación en la que se dé contactos con zonas a altas temperaturas es prácticamente imposible. Tan solo puede ser concebible durante los periodos de paro de la planta destinados a operaciones de mantenimiento. De esta forma, basta con esperar el tiempo necesario para que la temperatura de las conducciones sea la adecuada para la manipulación de las mismas.

Como medida de seguridad, los operarios destinados a tales operaciones de mantenimiento deberán ir equipados con los siguientes equipos de protección individual:

- Guantes de protección: deben aislar completamente las manos del calor. No deben inflamarse por contacto con superficies calientes. Además, deben ser estancos y resistentes ante productos químicos. Se deben mantener en buen estado y no deben adherirse a las superficies calientes.
- Zapatos y/o botas de seguridad: deben tener alta resistencia a productos químicos corrosivos y ser estancos. Deben ser aislantes térmicos y eléctricos. Tendrán puntas de acero para resistir las caídas de objetos o posibles aplastamientos de la parte anterior del pie. Además serán antideslizantes.

- Ropa de protección: deben ser aislantes térmicos y eléctricos, deben permitir la estanqueidad y ser resistentes a las agresiones químicas. Tendrán resistencia al rasgado, al alargamiento y a la penetración. Serán cómodos y de color vivo.

En caso de que estos operarios ejecuten operaciones de soldado en algunas ocasiones, deberán llevar protecciones oculares, ya sean gafas de protección o pantallas faciales. Deben ser resistentes a los productos incandescentes o en fusión y con un modo de rotura en esquirla no peligroso. Tendrán características filtrantes del ocular y ser estancos ante la radiación por la montura. Si se utilizan gases tóxicos en el soldado, deberán tener protecciones laterales y permanecer estancos en la cara.

Tales operarios deberán ser personas con la preparación necesaria, homologada por la legislación vigente y cumpliendo, en todo momento, con la normativa que les corresponda.

#### **7.1.4.4 Contactos eléctricos.**

Los riesgos ante contactos eléctricos serán mínimos, puesto que tan sólo se utilizarán dos tomas de 380v y otras dos de 220v. Además, todo el cableado debe estar aislado según la normativa vigente. Se incluirán magnetotérmicos, diferenciales y tomas de tierra adecuadas. De esta manera el riesgo ante contactos eléctricos no es mucho mayor que el existente en una casa particular.

#### **7.1.4.5 Contactos con sustancias tóxicas**

Los riesgos ante contacto con sustancias tóxicas vienen dados por la producción de CO y su salida al exterior de la instalación. Esta producción de CO puede darse por una oxidación incompleta en el reactor de la

emulsión de taladrina. Por lo tanto se colocarán detectores de CO en la instalación.

#### **7.1.4.6 Exposición a temperaturas extremas.**

Por el riesgo que constituyen posibles fugas que puedan generarse o explosiones físicas de distinta índole, se prohíbe el acceso a la zona de contacto directo con la planta, como ya se indico en “Efectos de una Explosión Física”.

Además, todas las conducciones, incluidos el reactor y los intercambiadores de calor, así como los precalentadores eléctricos, permanecen aislados convenientemente por requerimientos de diseño. De esta manera, el riesgo por exposición continuada a temperaturas extremas es casi nulo.

No obstante, es necesario indicar que hay que extremar las precauciones cada vez que se tenga acceso a la planta por uno u otro motivo.

#### **7.1.4.7 Agentes físicos: ruido, vibraciones, etc.**

La ubicación de la planta esta directamente relacionada con la necesidad de adoptar medidas ante riesgos por exposición continuada a ruidos y vibraciones. Como el compresor, que es el elemento que mayor nivel de ruido puede generar, se ha adquirido equipado con un sistema insonorizado, no será necesario adoptar medidas de seguridad de especial importancia.

Sin embargo dado que la planta estará ubicada en el interior del CACYTMAR, donde se realizan otras actividades, si será necesario hacer un estudio para definir las medidas a adoptar ante este riesgo en función de los

niveles de ruido y vibraciones que allí se generen, con objeto de que la persona encargada del control de la planta y de la adquisición de datos se encuentre lo más confortablemente posible.

#### **7.1.4.8 Caída de objetos por manipulación.**

La persona o personas encargadas de transportar objetos tales como garrafas con taladras, agua, herramientas, etc. deberán ir equipadas con botas o calzado de seguridad con refuerzos de acero en la punta, antideslizantes y resistentes a productos químicos. Por otra parte deberá llevar siempre ropa adecuada, ya sea una bata de laboratorio u otro tipo de indumentaria suficientemente resistente y guantes para protegerse frente a los productos químicos.

#### **7.1.4.9 Incendio en cuadro eléctrico**

De forma genérica el cuadro eléctrico se hallará en perfecto estado y no se sobrecargará la red con potencia superior a aquella para la que fue diseñada.

Por lo tanto la planta piloto debe contar con un extintor portátil o móvil como sistema de extinción, estos son aparatos autónomos que contienen un agente de extinción, que puede ser proyectado y dirigido sobre el fuego por la acción de una presión inferior.

Debe tratarse de un extintor de tipo denominado extintores secos, ya que estos no contienen agua en su composición y son buenos aislantes de la electricidad. Existen distintos tipos:

- De dióxido de carbono
- De polvo químico seco
- De halones, hidrocarburos halogenados.

### 7.1.5 Valoración de los riesgos existentes según las medidas adoptadas.

Según las directrices para la evaluación de riesgos en el lugar de trabajo (CE, 1996), entiende por evaluación de riesgos “el proceso de valoración de riesgos que entraña para la salud y seguridad de los trabajadores la posibilidad de que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo”

Para la valoración de los riesgos se empleará el método William T. Fine. Es un método sencillo que permite establecer prioridades entre las distintas situaciones de riesgo en función del peligro causado. La gravedad del peligro debido a un riesgo reconocidos se calcula por medio de una evaluación numérica, considerando tres factores; las consecuencias de un posible accidente debido al riesgo, la exposición a la causa básica y la probabilidad de que ocurra la secuencia completa del accidente y sus consecuencias:

$$GP = C \times E \times P$$

Donde GP es el **grado de peligrosidad**; C son las **consecuencias**, E la **exposición** y P es la **probabilidad** anteriormente comentada.

Estos parámetros E, P y C están tabulados en valores discretos. Su elección depende en cierta forma de la persona que realiza el análisis y de la tabla empleada. Estas tablas se pueden ampliar y acomodar según las singularidades de la actividad que se está realizando.

FACTOR	CLASIFICACIÓN	VALOR
<p>Consecuencias C</p>	<p>a) Catástrofe, numerosas víctimas, daños superiores a 1.000.000\$, gran quebranto de la actividad.</p> <p>b) Varias muertes, daños superiores a 500.000\$</p> <p>c) Muerte, daños superiores a 100.000\$</p> <p>d) Lesiones muy graves (amputaciones, incapacidad permanente), daños superiores a 1.000\$.</p> <p>e) Lesiones con baja, daños hasta 1.000\$</p> <p>f) Heridas leves, contusiones, golpes, pequeños daños.</p>	<p>100</p> <p>50</p> <p>25</p> <p>15</p> <p>5</p> <p>1</p>
<p>Exposición E</p> <p>Frecuencia con la que ocurre la situación de riesgo</p>	<p>La situación de riesgo ocurre:</p> <p>a) Continuamente o muchas veces al día.</p> <p>b) Frecuentemente (una vez al día)</p> <p>c) Ocasionalmente (una vez al mes)</p> <p>d) Irregularmente (una vez al año)</p> <p>e) Raramente (se sabe que ocurre)</p> <p>f) Remotamente posible(no se sabe que haya ocurrido)</p>	<p>10</p> <p>6</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>1</p> <p>0,5</p>
<p>Probabilidad P</p> <p>Probabilidad de que se complete la secuencia de accidente</p>	<p>Secuencia completa del accidente:</p> <p>a) Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar</p> <p>b) Es completamente posible; nada extraño; probabilidad del 50%</p> <p>c) Sería una secuencia o coincidencia rara</p> <p>d) Sería una consecuencia remotamente posible. Se sabe que ha ocurrido.</p> <p>e) Nunca ha sucedido en muchos años de exposición, pero es concebible.</p> <p>f) Secuencia prácticamente imposible.</p>	<p>10</p> <p>6</p> <p>3</p> <p>1</p> <p>0,5</p> <p>0,1</p>

**Tabla 20:** Parámetros C E y P

Aplicando lo anteriormente a la planta piloto objeto de estudio en el presente proyecto:

$$GP = C \times E \times P$$

$$GP = 25 \times 1 \times 3 = 75$$

A partir del valor obtenido del GP se establecen tres criterios de actuación:

- Si **GP>200** se considera riesgo **ALTO**, y se requiere actuación **INMEDIATA**. Paralización de la actividad hasta reducir su valor.
- Si **200>GP>85** se considera riesgo **MEDIO**. Se requiere intervención **URGENTE**, lo antes posible.
- Si **GP<85** se considera riesgo **BAJO**. El riesgo ha de ser tratado sin excesivo retraso.

Por tanto la planta piloto tendría un Grado de Peligrosidad bajo.

Una vez determinado el GP, se analiza la posible acción correctora atendiendo a dos factores, tabulados también en valores discretos: Grado de Corrección GC y Factor de Coste FC.

FACTOR	CLASIFICACION	VALOR
Factor de Coste FC Coste estimado de la acción correctora	a) Más de 50.000\$	10
	b) 25.000 a 50.000\$	6
	c) 10.000 a 25.000\$	4
	d) 1.000 a 10.000\$	3
	e) 100 a 1.000\$	2
	f) 25 a 100\$	1
	g) menos de 25\$	0,5
Grado de Corrección GC Grado en que será reducido	a) Riesgo completamente limitado (100%)	1
	b) Riesgo reducido un 75%	2
	c) Riesgo reducido un 50%	3
	d) Riesgo reducido un 25%	4
	e) Menos del 25% de reducción	6

**Tabla 21:** Parámetros FC y GC

Con estos dos factores y el GP se calcula el **grado de justificación de la medida correctora (J)**:

$$J = \frac{GP}{(FC \times GC)}$$

El valor de este parámetro nos indica si la medida está justificada o no:

$J > 10$  medida justificada ( $J > 20$  "muy justificada")

$J < 10$  medida no justificada.

Este método presenta dos claros inconvenientes: la subjetividad en la hora de la elección de los valores de los parámetros, y que dichos valores

están muy separados entre sí, por lo que una ligera diferencia de concepto se traduce en una gran diferencia numérica. Como soluciones a estos problemas se puede:

- Realizar el análisis varias personas de forma independiente: se elimina en parte el carácter subjetivo.
- Ampliar el número de entradas de la tabla: Disminuyendo las diferencias de apreciación.

La aplicación de este sistema no puede generalizarse en todos sus conceptos, siendo necesaria la adaptación a cada caso particular (Sector de Actividad, Empresa, Puesto de trabajo, etc.), con el consiguiente estudio y dedicación. No obstante, se estima muy conveniente, para realizar una primera planificación de la prevención, llevar a cabo una ordenación teórica de los distintos riesgos, en función de su Grado de Peligrosidad.

## **7.2 Seguridad en planta piloto.**

### **7.2.1 Seguridad Estructural**

Todos los elementos estructurales o de servicio deben:

- Tener la solidez y la resistencia necesaria para soportar las cargas o esfuerzos a que sean sometidos.
- Deberán disponer de un sistema de armado, sujeción o apoyo que asegure su estabilidad.
- Los equipos necesarios de seguridad para acceder a techos o cubiertas.

### **7.2.2 Espacio de trabajo y zonas peligrosas.**

En cuanto a la superficie y ubicación, las dimensiones de los lugares de trabajo deben tener como mínimo 3 m. de altura desde el piso hasta el techo.

Los suelos deben ser fijos, estables y no resbaladizos, sin irregularidades y pendientes peligrosas y de fácil limpieza. Los pavimentos en los que se empleen, estarán desprovistos de juntas o soluciones de continuidad. Además estarán acondicionados con pendientes y canalillos de recogida que impidan la acumulación de líquidos vertidos y permitan su fácil salida.

### **7.2.3 Tabiques, paredes y Techos.**

Los tabiques que sean transparentes o translúcidos, y en especial los tabiques que sean acristalados y estén situados en los locales o en las proximidades de los puestos de trabajo y vías de circulación deben estar claramente señalizados y disponer a la altura de los ojos de bandas de color y de una anchura de cuadro con el color de fondo y la luz existente. Además si existen superficies translúcidas o transparentes que no sean de material de seguridad, deben estar protegidas contra la rotura.

Las paredes deben ser lisas, estar guarnecidas o pintadas en tonos claros y ser lavables o blanqueables. Deberán ser impermeables y estarán desprovistas de juntas en aquellos lugares donde se empleen sustancias irritantes o tóxicas. Serán además de material incombustible en las zonas donde se sitúen calderas, hornos u otros focos de calor.

#### **7.2.4 Salidas y vías de evacuación.**

Las salidas y vías de evacuación han de desembocar en el exterior o en una zona de seguridad, deberán permanecer expeditas y libres de obstáculos y deberán permitir que todos los trabajadores evacuen los lugares de trabajo rápidamente y en condiciones de máxima seguridad.

Su número, distribución y dimensión estarán en función del uso, de los equipos, de la extensión de los lugares de trabajo y del número máximo de personas que puedan estar presentes.

Las puertas, las vías y las salidas específicas de evacuación deberán estar señalizadas desde el inicio del recorrido hasta el exterior, teniendo especial cuidado en señalar la alternativa correcta en aquellos puntos que inducen a error. Estas señales serán visibles en todo momento por lo que deben de disponer de fuentes luminosas incorporadas o ser autoluminiscentes. La señalización de salvamento o SOS cumplirá los requisitos exigidos en el R.D. 485/97, de 14 de Abril.

En caso de avería de la iluminación, las vías y salidas de evacuación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad (1 Lux mínimo).

#### **7.2.5 Condiciones de protección contra incendios.**

Los lugares de trabajo deben ajustarse a lo dispuesto a la normativa específica sobre condiciones de protección contra incendios y fundamentalmente a lo previsto en la Normativa Básica de Edificación, aprobada por el Real Decreto 2177/1996, de 4 de Octubre. No obstante, estos lugares de trabajo deben satisfacer las siguientes condiciones generales:

- Estar equipados con dispositivos adecuados para combatir los incendios y, si fuera necesario, con detectores contra incendios y sistemas de alarma, las características físicas y químicas de las sustancias existentes y el número máximo de personas que puedan estar presentes.
- Los equipos no automáticos de lucha contra incendios deben ser de fácil acceso y manipulación.
- Los dispositivos no automáticos deben estar señalizados de forma que sean visibles en todo momento, por lo que ante un fallo de alumbrado, dispondrán de fuentes luminosas incorporadas o serán autoluminiscentes. La instalación del alumbrado de emergencia debe proporcionar al menos una intensidad de 5 Lux en los puntos donde estén situados los equipos de protección contra incendios que exija utilización manual y en los cuadros de distribución del alumbrado. Esta señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y ser duradera.

#### **7.2.6 Instalación eléctrica**

La instalación eléctrica de planta piloto debe ajustarse a la normativa específica y, fundamentalmente, a los reglamentos relativos a instrucciones técnicas complementarias. No obstante, la instalación eléctrica no deberá entrañar riesgos de incendio o explosión. Tendrá en cuenta la tensión, los factores externos condicionantes y la preparación y el adiestramiento de las personas que tengan acceso a partes de la instalación y protegerá a los trabajadores de los accidentes causados por contactos directos o indirectos.

### **7.2.7 Condiciones ambientales.**

Las condiciones ambientales a las que se refiere este apartado son la temperatura, la humedad y la ventilación. La exposición a las condiciones ambientales no debe suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores ni debe ser una fuente de incomodidad o molestia para los mismos. Por todo han de evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables y la irradiación excesiva.

Con respecto a la temperatura, hay que decir que para trabajos sedentarios, propios de oficinas, el intervalo adecuado se encuentra entre los 17 y los 27°C. Para trabajos ligeros la temperatura debe estar comprendida entre los 14 y 25°C.

La humedad relativa debe estar comprendida entre 30 y 70%. Cuando la temperatura y/o humedad de los lugares cerrados exceda los valores recomendados o no se llegue a 10°C, se deberá evaluar el riesgo por dicho estrés térmico por calor o frío. Para la evaluación del riesgo por dicho estrés hay que tener en cuenta, además de las condiciones ambientales, la actividad realizada y la ropa que se lleve.

Con respecto a la ventilación, hay que decir que los trabajadores no deben estar expuestos a corrientes de aire, por lo que en trabajos sedentarios en ambientes calurosos, la velocidad de este no debe sobrepasar los 0,5 m/s. La renovación mínima del aire será en trabajos sedentarios y en ambiente no calurosos de 30 m<sup>3</sup> de aire limpio por hora y trabajador, mientras que en los restantes trabajos será de 50m<sup>3</sup>.

### **7.2.8 Iluminación.**

La iluminación natural debe ser la preferente, siendo la artificial la que complementa a ésta. Se empleará la iluminación artificial cuando la iluminación natural no exista o sea insuficiente o cuando se proyecten sombras que dificulten la relación del trabajo. La relación entre los valores máximos y mínimos de iluminación, media en Lux, no será inferior a 0,80. de esta forma se asegurará la uniformidad de la iluminación por todas las zonas de trabajo.

Esta iluminación se adecuará a las características del centro de trabajo, será segura, evitando que vicié la atmósfera del local y que represente un riesgo de incendio y explosión y también será antideflagrante en los locales donde se almacenan sustancias peligrosas con riesgo de explosión.

## **7.3 Residuos tóxicos y Peligrosos.**

### **7.3.1 Almacenamiento de Residuos tóxicos y peligrosos.**

El tiempo de almacenamiento de los residuos tóxicos y peligrosos, por parte de los productores, no podrá exceder de 6 meses, salvo autorización expresa del órgano competente de la Comunidad Autónoma donde se lleve a cabo dicho almacenamiento.

Un principio básico de seguridad es limitar la cantidad de sustancias peligrosas en los lugares de trabajo a las estrictamente necesarias, considerando además las restricciones legales, tanto cualitativas como cuantitativas de determinados productos. Con ello, podemos aislar y dotar al lugar de las medidas de prevención adecuadas.

Cuando se precise disponer de pequeñas cantidades de productos químicos en los ámbitos de trabajo se depositarán en armarios especiales agrupándolos según los riesgos que presenten y evitando la proximidad de sustancias incompatibles o que puedan generar acciones peligrosas.

### **7.3.2 Manipulación de residuos tóxicos y peligrosos.**

Es conveniente revisar el estado de los recipientes de plástico o derivados periódicamente, puesto que sufren cierto deterioro con el paso del tiempo que se agrava si están expuestos al sol.

Se pueden realizar transvases por gravedad desde recipientes fijos siempre que se disponga de grifo incorporado y exista un sistema de drenaje para la eliminación rápida de posibles derrames.

Si los recipientes son de tamaño mediano (10-20l), para facilitar su manejo pueden disponer de un sistema basculante, siempre que el recipiente disponga de grifo. El llenado del recipiente de boca estrecha debe efectuarse con embudo, salvo que el trasvase se efectúe desde recipientes de muy pequeña cantidad (menor a 1l), que se manejan con una sola mano y disponen de pico que se puede introducir en el recipiente que se llena.

En cuanto a los derrames no deben ser absorbidos con trapos, aunque se usen guantes. Conviene utilizar otros sistemas de absorción más seguros que, además, ejerzan una acción neutralizante cuando sea factible. Hay que prever sustancias neutralizantes para cada caso y agua abundante para la limpieza.

Se deben diferenciar los recipientes de los diferentes tipos de residuos, que deben estar dotados de cierre hermético.

### **7.3.3 Etiquetado de residuos tóxicos y peligrosos.**

Los excipientes o envases que contengan residuos tóxicos y peligrosos deberán estar etiquetados de forma clara, legible e indeleble. En la etiqueta deberá figurar:

- El código de identificación de los residuos tóxicos y peligrosos que contiene.
- Nombre, dirección y teléfono del titular de los residuos.
- Fechas de envasado.
- La naturaleza de los riesgos que presentan los residuos.

### **7.3.4 Medidas de protección individuales e higiene personal.**

En toda actividad en que exista un riesgo de contaminación se deberán adoptar las medidas:

- Se prohíbe comer, beber o fumar en la zona de trabajo.
- Se proveerá de ropa de protección adecuada.
- Se dispondrá de lugares separados para guardar las ropas de trabajo o de protección y las ropas de vestir, así como los equipos de protección, verificando que se limpian y se comprueban con anterioridad, y en todo caso, después de cada utilización, reparando o sustituyendo los equipos defectuosos antes de un nuevo uso.
- Se dispondrá de sanitarios y cuartos de aseo apropiados.

#### **7.4 Legislación aplicada al presente estudio**

- Ley de prevención de riesgos laborales (ley 31/95 de 8/11/95)
- Reglamento de los servicios de prevención (R.D. 39/97 de 7/01/97)
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual (R.D. 773/97 de 30/05/97)
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (R.D. 1215/97 de 18/07/97)
- Ordenanza general de higiene y seguridad en el trabajo (OM de 09/03/97), capítulo VI y artículo 24 y 75 del capítulo VII
- Reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo (O.M. de 31/01/40), capítulo VII.
- R.D. 1316/89 sobre el ruido.

**BUREAU  
VERITAS**



**CAMPUS UNIVERSITARIO RIO SAN  
PEDRO  
INSTITUTO DE INVESTIGACION  
NAVE MULTIUSO  
P.I. RIO SAN PEDRO  
11510 PUERTO REAL  
a/a: D. Enrique Nebot**

n/ref. 17296/EMS/AMG

Cádiz, 11 de Julio de 2005

**ASUNTO: INSPECCION DE PLANTA PILOTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES  
672867/41E21050031/01**

Muy Sres. Nuestros:

Adjunto tenemos el gusto de remitirles el certificado que hemos establecido, relativo al reconocimiento y prueba de una Planta Piloto de tratamiento de residuos industriales por oxidación en aguas supercríticas, instalada en ese Campus.

Sin otro particular, les saludamos atte.

**BUREAU VERITAS**  
Ingeniero Técnico Industrial

*Cecilio Rodríguez Cruz*  
Responsable de Equipo  
(Cádiz - Algeciras - Ceuta)

**ANDALUCÍA OCCIDENTAL**

**CADIZ - 11011**

Glorieta Zona Franca s/n  
Edificio GLORIETA Planta 3ª  
Módulos 3 - 4 - 5  
Tel. 956 257 203  
Fax: 956 253 307  
**JEREZ - 11403**  
c/ Larga, 61 - 2ª A  
Tels: 956 323 266 / 325 527  
Fax: 956 168 307

**HUELVA - 21002**

Pº de la Glorieta, 26 - 2ª Planta  
Tel. 959 540 309  
Fax: 959 281 097

**ALGECIRAS - 11205**

Ctra. Nacional 340 P.K. 108,35  
Edificio Dielectric. Planta 1.ª  
Tel. 956 669 919  
Fax: 956 669 834

**SEVILLA - 41012**

Avda. Reino Unido, s/n 1ª Planta  
Edif. Adytec Eurooficinas  
Tels. 95 465 52 61 - 95 465 54 65  
Fax: 95 464 79 64

**CORDOBA - 14004**

Avda. Aeropuerto, 3 Esc. Dcha. 3.ª 8  
Tel. 957 761 125 - 957 761 316  
Fax: 957 451 039

Bureau Veritas Español, S.A.  
Inscrita en el Registro Mercantil  
de Madrid, Tomo 2.308 general, 1.669  
Sección 3ª, Folio 174, Hoja 14.243,  
16 - 9 - 1968. C. I. F. A - 28/205904

OCA (Organismo de control Acreditado)  
Miembro de ASORCO Y DE ASOCAN



**BUREAU  
VERITAS**

**BUREAU VERITAS  
ESPAÑOL, S.A.**

**ORGANISMO DE CONTROL AUTORIZADO  
(O.C.A.)**

672867/41E21050031/01

**BUREAU VERITAS ESPAÑOL, S.A.**

**CERTIFICA:**

Que en cumplimiento de las disposiciones del Reglamento de Recipientes a Presión, aprobado por Real Decreto 1244 de 4 de Abril de 1979, se ha procedido por personal técnico de esta OCA al reconocimiento y prueba de:  
**Planta Piloto de tratamiento de residuos industriales por oxidación en aguas supercríticas.**

de las siguientes características:

Marca: UCA

Fabricante: UCA

Tipo: **CILINDRICO HORIZONTAL**

Nº de Fabricación: 001

Presión de trabajo: 250 kg./cm<sup>2</sup>. Volumen: 0.003 m<sup>3</sup>. Categoría:

Timbrado anterior por la Delegación Provincial de: **CADIZ (B. VERITAS)**

en fecha **04/07/05** y número instalado en el establecimiento: **CAMPUS UNIVERSITARIO RIO SAN PEDRO DE PUERTO REAL, INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN NAVE MULTIUSO.**

dedicado a: **INVESTIGACIÓN, I + D** sitio en: **PUERTO REAL**

propiedad de: **UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (UCA)**

Revisado el aparato y comprobado sus dispositivos de marcha y seguridad, cumple los requisitos reglamentarios.

En consecuencia, ha sido sellada la placa de identificación con la fecha del timbrado:

Presenció la operación en representación del propietario del aparato **Enrique Nebot**

Deberá someterse a una nueva inspección periódica antes de **diez** años.

Y para que conste y surta los efectos legales que proceda, se extiende el presente Certificado en Cádiz, a 8 de Julio de 2005.

**BUREAU VERITAS ESPAÑOL, S.A.**  
**INSPECTOR**

  
**Enrique Martínez Sabino**  
Ingeniero Naval

M-8



# Presupuesto

## **8. Presupuesto**

### **INDICE**

<b>8.1 Presupuesto</b>	<b>214</b>
<b>8.2 Consumo eléctrico de la planta</b>	<b>216</b>

## 8.1 Presupuesto

La finalidad del presupuesto es poner de manifiesto la inversión necesaria para la ejecución material del presente proyecto y desglosar y detallar el precio unitario de cada partida que interviene en dicha ejecución. Además es un documento en el que pueden apreciarse todos los equipos, dispositivos, accesorios, etc... que entrarán a formar parte y serán precisos para llevar a cabo la instalación y puesta en funcionamiento de la planta en su totalidad.

Un presupuesto será tanto más fiable cuanto más detallada sea su realización. Atendiendo a la profundidad del mismo puede distinguirse cinco niveles en la realización de presupuestos:

- Orden de magnitud: Se estima un presupuesto basado en información sobre proyectos similares al estudiado.
- Estudio estimativo: El presupuesto se obtiene a partir del coste del equipamiento principal de la planta.
- Estudio preliminar: Emplea datos de inversión para el equipo principal y otros datos alternativos que permitan ajustar mejor el presupuesto.
- Estimación definitiva: Se elabora a partir del precio de todos y cada uno de los componentes de la instalación, pero sin poseer planos exactos de la instalación. Su margen de error se estima dentro de un  $\pm 10\%$ .
- Estimación detallada: Es igual que la anterior, pero en este caso ya se emplean planos precisos de la instalación y las características de diseño están totalmente cerradas. Su margen de error se estima dentro de un  $\pm 5\%$ .

Cada uno de los niveles es mas complejo que el anterior a causa de que la cantidad de información y de exactitud ha de ser cada vez mayor.

En el presente proyecto se realizará un presupuesto a nivel de estudio estimativo, empleando los costes de los equipos. Algunos de estos costes se han obtenido a través de fabricantes y otros han tenido que ser calculados a partir de tabla o datos bibliográficos.

A continuación se detalla, en forma de tabla, los precios de cada uno de los equipos de la instalación que servirán de base para la estimación del presupuesto final.

<b>Línea líquido</b>	tanque residuo	<b>292,32 €</b>
	agitador	<b>516,20 €</b>
	ev on-off	<b>168,63 €</b>
	bomba	<b>4.074,00 €</b>
	resistencias	<b>3.040,67 €</b>
	caudalímetro líquido	<b>120,00 €</b>
	electrodos	<b>134,00 €</b>

<b>Línea gases</b>	compresor	<b>15.950,66 €</b>
	botellas	<b>71,92 €</b>
	EV aire	<b>2.385,14 €</b>
	válvula seguridad	<b>183,34 €</b>
	filtro	<b>231,64 €</b>
	caudalímetro	<b>3.788,39 €</b>
	rotámetro	<b>133,59 €</b>

<b>Control</b>	PLC	<b>4.918,43 €</b>
	SCADA	<b>1.163,10 €</b>
	elementos eléctricos	<b>142,67 €</b>
	cuadro	<b>584,00 €</b>
	ordenador	<b>685,00 €</b>

<b>Generales</b>	termopares	<b>1.364,83 €</b>
	tubos y conexiones	<b>24.680,65 €</b>
	aislante	<b>417,04 €</b>
	ferretería	<b>1.274,03 €</b>
	informática	<b>755,63 €</b>
	certificación seguridad	<b>290,00 €</b>

<b>Otros</b>	paneles cristal	<b>5.016,96 €</b>
	EV final	<b>1.944,00 €</b>
	EV refrigeración	<b>147,34 €</b>
	enfriador	<b>1.784,89 €</b>

<b>Total</b>		<b>76.259,07 €</b>
--------------	--	--------------------

Se obtiene un precio total para todos los componentes especificados de 76.259,07€. Este precio no incluye montaje, transportes, etc y faltan algunos equipos cuyos precios no han podido obtenerse ni por información del fabricante ni por estimación bibliográfica.

## 8.2 Consumo eléctrico de la planta

<b>EQUIPO</b>	<b>POTENCIA (kW)</b>
Compresor	5,5
Bomba alim	1,1
Agitador	0,37
Resistencias	7,25
Ordenador	0,4
Electrónica	<1

La planta tendrá un consumo eléctrico máximo de 15,12 kW.

Una vez pasada la puesta en marcha de la planta si se trabaja en condiciones de régimen autotérmico, donde se puede prescindir de las

resistencias eléctricas encargadas del precalentamiento de la alimentación, el consumo de la planta será de 7,87 kW.

Por tanto el consumo eléctrico mínimo de la planta se dará al trabajar en condiciones de régimen autotérmico, en los periodos de descanso donde el compresor no esta en funcionamiento, y la planta se alimenta de las bombonas de almacenamiento de aire. En esta situación se tendrá un consumo de 2,37kW en la planta.

# **Bibliografía**

*Ingeniería de Reactores.* Jesús M. Santamaría, Javier Erguido, Miguel A. Méndez, Antonio Monzón. Editorial Síntesis, S.A.

*Estudio y modelización de un proceso para la eliminación de los residuos de las industrias de mecanizado mediante oxidación en agua sub- y supercrítica.* Tesis doctoral. Universidad de Cádiz. Jezabel Sánchez Oneto. Abril 2005.

*Proceso de transferencia de calor.* Donald Q. Kern. Editorial Continental, S.A de C.V México. 1986.

*Transferencia de Calor.* Necati Ozisik. McGraw-Hill Latinoamérica, 1979.

*Curso de Ingeniería Química. Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte.* J. Costa López, S. Cervera March. Ed. Reverté, S.A. 5ª Edición.

*Transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia.* C.O. Bennett. J.E. Myers. Ed. Reverté, S.A. 1979.

*Ingeniería de las reacciones químicas.* Octave Levenspiel. Ed. Reverté. 1997.

*Ingeniería Química. Operaciones Básicas.* Coulson, Richardson. Ed. Reverté. 1998.

*Manual del Ingeniero Químico.* Perry. Ed. McGraw-Hill, 6ª Edición 1999.

*Diseño de una planta piloto para el tratamiento de residuos procedentes de mecanizado de piezas metálicas por oxidación acuosa a alta presión.* Proyecto fin de carrera. José Luis Orué Mateos, Octubre 2002.

<http://webbook.nist.gov>

<http://www.uax.es>

<http://www.asades.org.ar>

<http://www.agencia.secyt.gov.ar>

<http://www.monografias.com>

<http://ec.europa.eu>

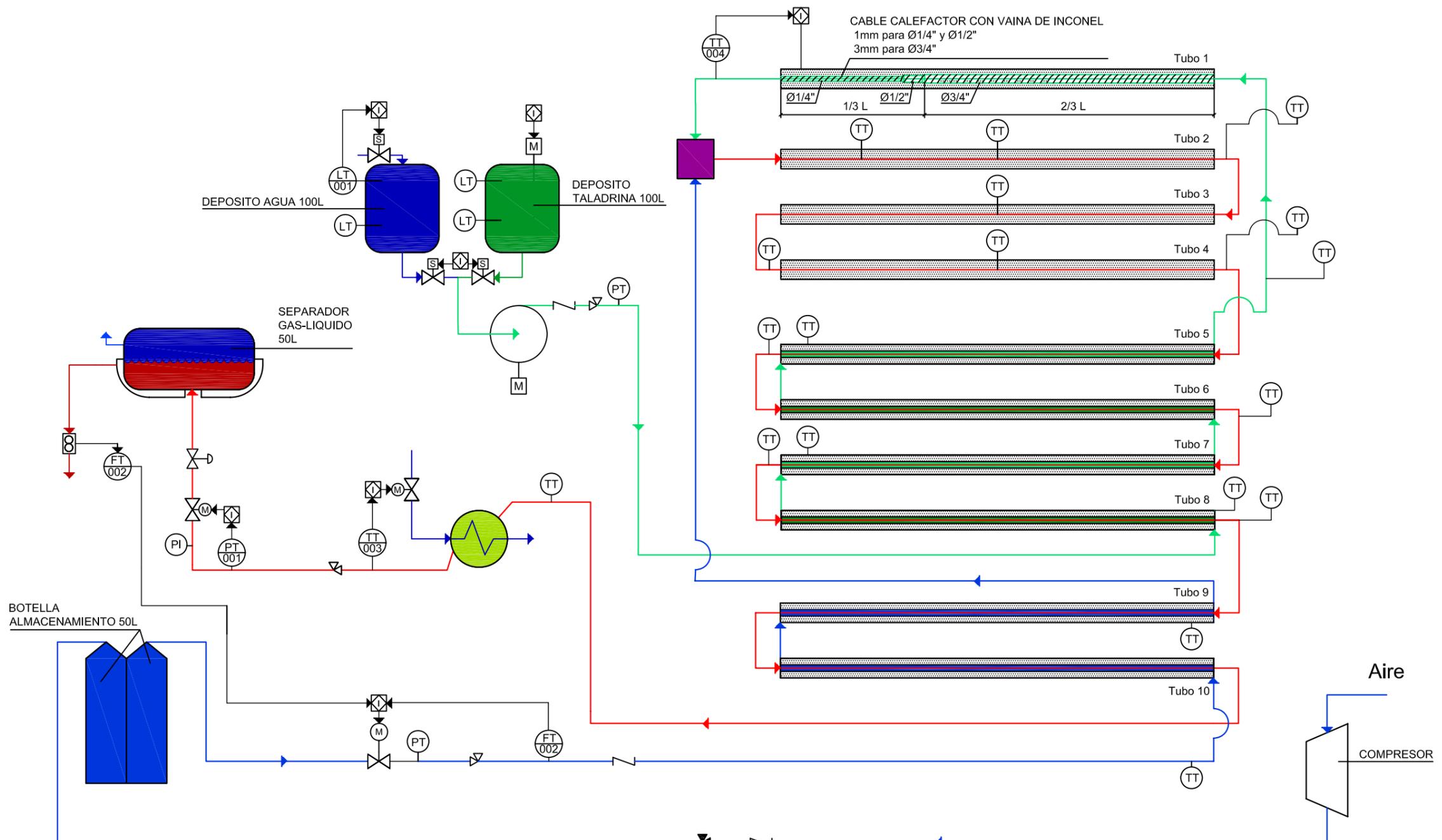
<http://www.mma.es>

# PLANOS

**INDICE:**

**Plano nº 1: Planta piloto de OASC**

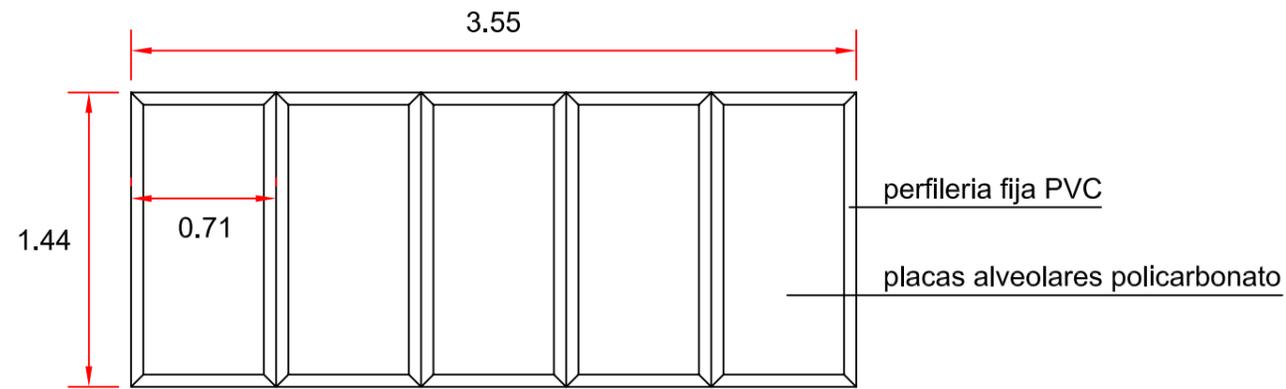
**Plano nº 2: Estructura para instalación de la planta piloto**



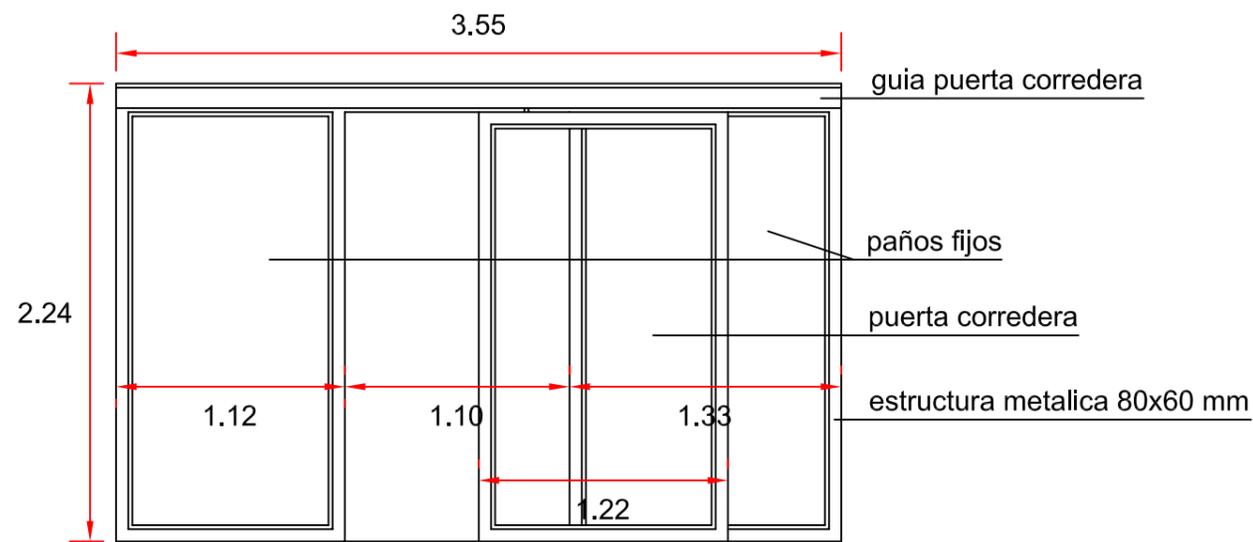
SIMBOLOGIA	
	Pulsador
	Indicador / Transmisor Presión Diferencial
	Indicador / Transmisor Temperatura
	Caudalimetro masico de gases
	Indicador / Transmisor de Nivel
	Indicador Presión
	Termopares tipo K
	Indicador de Nivel
	Manometro de aguja
	Motor
	Válvula Antiretorno
	Disco de ruptura AUTOCLAVE 3/16 F
	Válvula alivio
	Válvula Regulación Caudal
	Electrovalvula reguladora de presión
	Electrovalvula
	Enfriador
	Caudalimetro
	Punto de mezcla
	Bomba
	Manta Termica Fiberfrax Durablanket S

	TUBO (mm)	T. CONCENTRICO (mm)		AISLAMIENTO (mm)
		Ø interno	Ø externo	
Precalentador eléctrico	Tubo 1	4,18-12,32	6,35-12,32	45,73
	Tubo 2	12,32	19,05	45,73
Reactor	Tubo 3	12,32	19,05	45,73
	Tubo 4	12,32	19,05	45,73
Intercambiador taladrina	Tubo 5	0,618	9,53	32,99
	Tubo 6	0,618	9,53	32,99
Intercambiador aire	Tubo 7	0,618	9,53	39,30
	Tubo 8	0,618	9,53	39,30
	Tubo 9	0,618	9,53	32,78
	Tubo 10	0,618	9,53	32,78

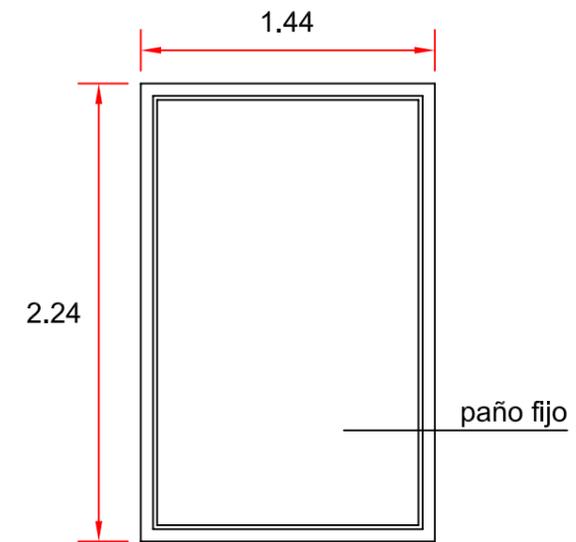
AUTOR: CELIA LOAIZA GALLARDO		FECHA:1-11-06
REVISADO POR: CELIA LOAIZA GALLARDO		FECHA:3-11-06
FIRMA	TITULO	PLANO N°
	PLANTA PILOTO DE OASC	<b>1</b>



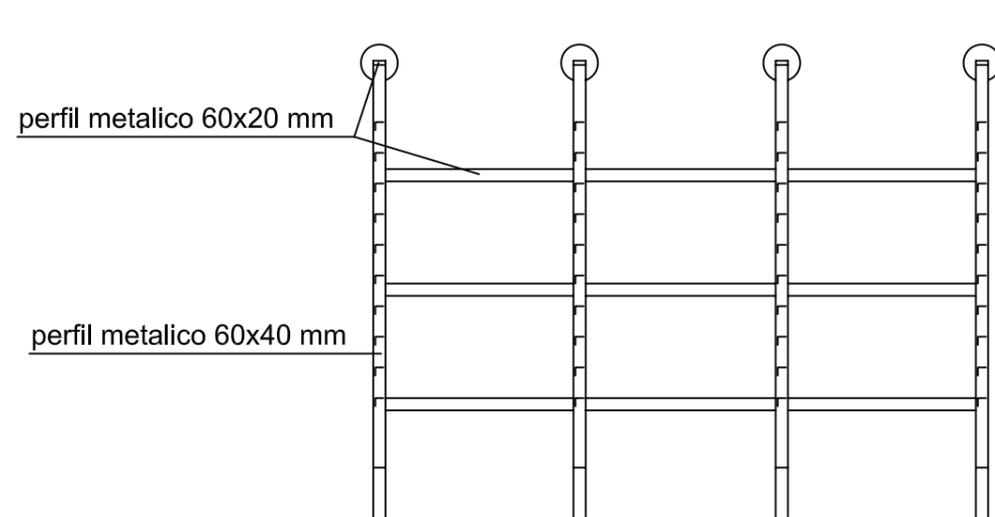
PLANTA ARMARIO



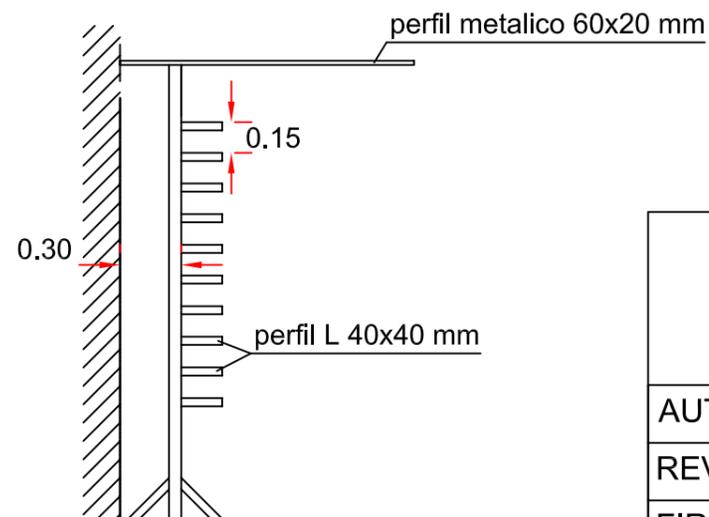
ALZADO ARMARIO



PERFIL ARMARIO



PLANTA ESTRUCTURA REACTOR



PERFIL ESTRUCTURA REACTOR

AUTOR: CELIA LOAIZA GALLARDO		FECHA:6-11-06
REVISADO POR: CELIA LOAIZA GALLARDO		FECHA:8-11-06
FIRMA	TITULO	PLANO N°
	ESTRUCTURA PARA INSTALCIÓN DE LA PLANTA PILOTO	2

