



**Universidad**  
Zaragoza



Trabajo Fin de Máster

**EDUCAR PARA LA INNOVACIÓN Y EL  
PROGRESO SOCIAL**

**EDUCATE FOR INNOVATION AND SOCIAL  
PROGRESS**

Autor:

Daniel Alonso Ladeiro

Director:

Doctor José María Matesanz Martín

Facultad de Educación

Zaragoza, Junio 2016

**Índice**

<b>1. Resumen y palabras clave.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Breve presentación del candidato .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Contexto de la actividad docente .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Primer nivel curricular .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Segundo nivel curricular .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Tercer nivel curricular .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Cuarto nivel curricular .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>5. Reflexiones .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Análisis de grupo-clase y estudio comparativo .....</b>	<b>19</b>
<b>5.2. Diseño de actividades y materiales .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3. Proyecto de Innovación .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>35</b>
<b>7. Propuestas de futuro .....</b>	<b>36</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>38</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>41</b>

## 1. Resumen y palabras clave

La presente memoria se establece como el último escalón en mi proceso de formación como futuro docente con la realización del Máster de Profesorado. A través de esta memoria, se realiza una reflexión sobre la profesión docente y las distintas actividades que han contribuido al desarrollo y adquisición de competencias necesarias para ejercer como docente.

El trabajo comienza con una breve presentación de mi mismo y analizando la actual situación del docente en la sociedad. Para ello, se revisa el marco legislativo de la educación y más concretamente el de la Formación Profesional, haciendo hincapié a aquello que un docente debe tener en cuenta en el día a día como son las metodologías de aprendizaje, la programación didáctica y el diseño de actividades.

Una vez hecha esta introducción, se va a justificar las competencias del TFM por medio de un análisis crítico y reflexivo de unos trabajos que he realizado durante el curso académico. A continuación, se analiza y se reflexiona sobre los trabajos seleccionados, estableciendo la relación entre ellos y los vínculos con los distintos conocimientos y destrezas adquiridas en el máster.

Finalmente, se establecen unas conclusiones finales y unas propuestas de futuro, haciendo hincapié en la necesidad y la importancia de seguir formándome a lo largo de mi vida.

**Palabras clave:** *innovación, progreso social, reflexión, competencias, formación permanente*

### ABSTRACT

This memory is the last step in my formation process as a teacher with the achievement of the Master of Education. Through this memory, I try to analyze in a critical way the teacher's career and the different activities that contribute to the development and acquisition of skills and abilities to work as a teacher.

This memory begins with a short presentation of myself and analyzes the current situation of teachers in our society. So, the legislative frame of education is checked specially in the Professional Training, emphasizing the different things that a teacher must keep in mind in his job like the methodologies of learning, the didactic programming and the design of activities.

After the introduction, the competitions of the Final Master Work are justified by a critical and a reflective analysis of a few activities, which I have developed during this academic year. After this, I will analyze in a critical way the chosen activities, establishing the relation between them and the links with the different theoretical issues and skills acquired in this master's degree.

Finally, some final conclusions and a few proposals of future are established, emphasizing the need and the importance for me in continuing with my education through my life.

**Keywords:** *innovation, social progress, reflective analysis, skills, education through life.*

## 2. Breve presentación del candidato

Soy ingeniero químico y aspiro a ser un profesional de la docencia en los próximos años. Por ello, voy a hacer una breve presentación de mi mismo y del motivo por el cual deseo formar parte de la que sin duda es una de las profesiones más importantes para el progreso y el bienestar de la sociedad. Decía Nelson Mandela que *“la educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”* al igual que un siglo antes, el novelista francés, Víctor Hugo, afirmaba que *“el porvenir está en manos de los maestros de la escuela”*.

En los últimos dos años y medio, he ido madurando la idea de dedicarme a la docencia, ya que durante el período posterior a la finalización de mis estudios de Ingeniería Química, me fui dando cuenta de que es una labor muy gratificante y de la que se aprende mucho a la vez que se enseña. Como decía un profesor que tuve en un curso que hice en CEPYME sobre Reingeniería Empresarial hace más de un año, *“en esta vida hay dos grandes formas de aprender cosas nuevas: haciendo proyectos e impartiendo formación”*. Además, la educación contribuye a mejorar nuestra sociedad, ya que no solamente se trabajan contenidos puramente curriculares, sino también temas de carácter transversal como la educación en valores, el respeto al medio ambiente, la educación para la paz y la solidaridad, así como la participación activa en una sociedad democrática y en constante transformación. Por consiguiente, después de haberlo meditado y habiéndome informado con detalle, opté por cursar el Máster Universitario de Profesorado en la Universidad de Zaragoza.

A la hora de elegir la especialidad, dado que mi titulación de Ingeniería Química me habilita para impartir varias disciplinas, como pueden ser Matemáticas, Física y Química en las enseñanzas de ESO y Bachillerato, así como Química a nivel de Formación Profesional, finalmente acabé decantándome por la especialidad de Procesos Químicos de Formación Profesional. Uno de los principales motivos que me llevaron a elegir esta especialidad, fue el mero hecho de que quería probar un campo diferente que para mí de entrada ya es muy desconocido, debido a que yo cursé en su época el Bachillerato, y la Formación Profesional por aquel entonces estaba muy desprestigiada frente a otras enseñanzas del sistema educativo como las universitarias. Además, a raíz de la actual situación económica que atraviesa Europa en general y mi país en particular, se ha demostrado que la Formación Profesional presenta una sólida formación de carácter práctico con un fuerte vínculo con el mundo laboral y empresarial.

La realización de este máster ha supuesto un antes y después en lo que respecta a mi manera de ver la docencia, ya que me ha permitido conocer en profundidad la organización y el funcionamiento de la actividad docente, que presenta muchas diferencias con respecto a lo que ya sabía previamente. El profesor ya no es un mero transmisor de conocimientos como lo fue hace 50 años, sino que se ha convertido en un gestor del aprendizaje y el alumno ha pasado a tener un mayor protagonismo en su etapa formativa.

Finalmente y para terminar, me gustaría expresar mi satisfacción con la decisión que hace un año tomé y de la que no me arrepiento en absoluto. En este sentido, espero que en un futuro no muy lejano, pueda formar parte de este gran gremio y contribuir a través de la educación a la mejora del bienestar de nuestra sociedad. Como profesor trabajaré aprendiendo de mis alumnos a la vez que ejerzo mi labor docente, no solo enseñando conocimientos propios de mi especialidad, sino también contribuyendo a una formación integral de mis alumnos como profesionales y personas.

### 3. Contexto de la actividad docente

Voy a comenzar el presente trabajo realizando una revisión analítica y crítica de la actividad docente, atendiendo a los distintos niveles de concreción curricular en los que se organiza y se estructura el actual sistema educativo en España.

En lo que respecta al planteamiento de los distintos niveles curriculares, he observado que hay varias teorías acerca del número y orden de los mismos. Según Pérez Gómez (1986) hay dos grandes niveles de diseño del currículo con diferentes grados de concreción en cada uno de ellos. En este caso, destacaría el *marco curricular* que sería el primer nivel y de una *propuesta flexible de intervención, o proyecto curricular*, llevada a cabo por el docente, que sería el segundo nivel. En el marco curricular están los programas, principios y valores, impuestos o recomendados por la administración general, que sirven como referencia para la elaboración de los proyectos curriculares. El proyecto curricular según el autor se define como “Una propuesta coherente y armónica con sentido en sí misma, que ofrece y justifica una selección y organización secuencial de contenidos más o menos rígidos y que sugiere una determinada forma de trabajo” (Pérez Gómez, 1986, p. 92).

Sin embargo, otros autores como Coll (1986) proponen tres niveles de concreción curricular. En el primer nivel se enuncian los objetivos generales a conseguir en un ciclo, estableciendo las áreas curriculares con sus objetivos generales correspondientes. En el segundo nivel se incluye información sobre la secuenciación de aprendizajes y los contenidos a lo largo del ciclo. Finalmente, en el tercer y último nivel, según Coll se incluirían las programaciones contextualizadas a las necesidades del propio centro educativo.

Finalmente, si tenemos en cuenta el actual marco legislativo visto en la asignatura de *Contexto de la Actividad Docente*, he llegado a la conclusión de que en el actual sistema educativo en España tomando como base la Ley Orgánica de Educación (2006), podrían establecerse 4 niveles de concreción curricular como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Diferentes niveles de concreción curricular del sistema educativo español.

MARCO LEGAL	Nº	NIVEL CURRICULAR DENOMINACIÓN	¿QUIÉN LO HACE?	¿CÓMO SE HACE?	¿A QUIÉN LE AFECTA?
LOE (2006)	1º	Enseñanzas mínimas <sup>1</sup>	Administración central	A través de Reales Decretos y/o Leyes.	A los centros y a la comunidad educativa en general.
	2º	Curriculum oficial de las CC.AA.	Administración educativa autonómica	A través de Decretos y/u Órdenes.	A la comunidad educativa de dicha autonomía.
	3º	Proyecto Educativo del Centro y Proyectos curriculares (Currículo del centro)	Centro educativo	A partir del currículo oficial de la CC.AA y de las características de cada centro.	A la comunidad educativa vinculada al centro.
	4º	Programaciones anuales y unidades didácticas	Profesor/ Departamento Didáctico	A partir de las necesidades y características del alumnado	Al curso al que va dirigido.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la información extraída del libro de *Organización de los centros educativos* de Bernal Agudo, Cano Escoriaza y Lorenzo Lacruz (2014).

<sup>1</sup>Con la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) (2013) el primer nivel de *enseñanzas mínimas* pasa a denominarse *currículo básico*.

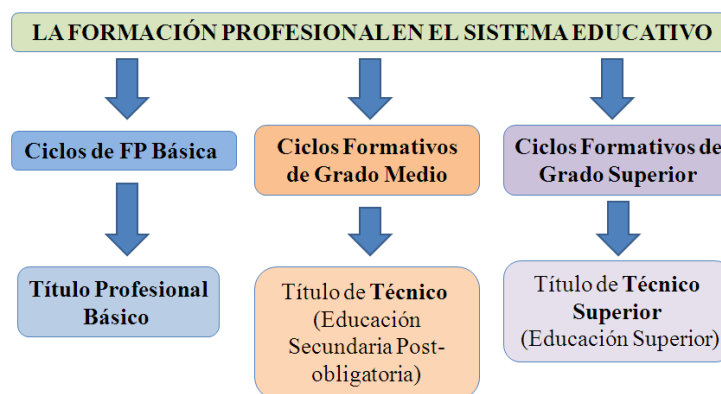
Aún se podría considerar otro nivel de concreción curricular que sería la elaboración de adaptaciones curriculares individualizadas para aquellos alumnos que las necesiten (Bernal Agudo et al., 2014).

### 3.1. Primer nivel curricular

La situación actual del sistema educativo tanto en la Comunidad Autónoma de Aragón como en el resto del Estado español, se encuentra en una compleja encrucijada entre la Ley Orgánica de Educación (LOE, 2006) y la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, 2013). Debido a ello, considero a modo de opinión personal que las distintas fuerzas políticas, independientemente del color ideológico, deberían llegar a un gran Pacto por la Educación pensando más en la comunidad educativa en su conjunto que en los intereses ideológicos y partidistas. Dicho pacto debe fundamentarse en el diálogo y en el consenso como ya se hizo en los Pactos de la Moncloa de 1977 y en la posterior elaboración de la actual Constitución de 1978.

Como ya se ha comentado antes, este primer nivel curricular corresponde al *currículo básico* según la LOMCE, de manera que en lo que respecta a la Formación Profesional (FP en adelante), al Gobierno le corresponde fijar *los objetivos, competencias, contenidos, resultados de aprendizaje y criterios de evaluación del currículo básico* (Artículo 6 bis.4, LOMCE, 2013).

En el actual sistema educativo como he podido estudiar en las asignaturas de *Contexto de la Actividad Docente y Sistema Nacional de Cualificaciones y Formación Profesional*, la FP oferta más de 150 ciclos formativos dentro de 26 familias profesionales y viene estructurada para cada familia profesional como se indica en la Figura 1:



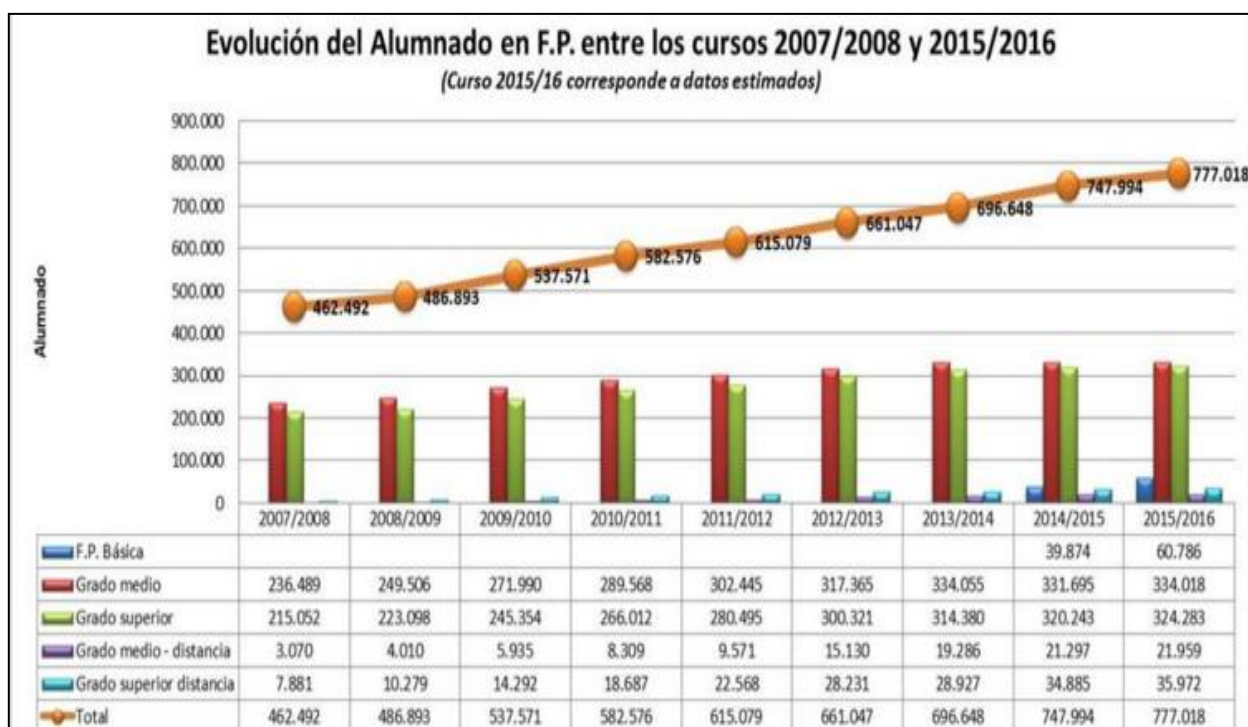
**Figura 1.** La FP en el actual sistema educativo (Fuente: Elaboración propia).

En la asignatura de *Entorno Productivo* tuve la oportunidad de estudiar algunos aspectos acerca de la situación actual de la FP en el mercado laboral, junto con algunas explicaciones que recibí en la asignatura de *Sistema Nacional de Cualificaciones y Formación Profesional*. En la Figura 2 se muestra el total de contratos durante el año 2014 para el caso de 20 ciclos formativos de grado medio y superior. De esta manera, se observa que los ciclos formativos con mayor número de contrataciones son los que corresponden a Gestión Administrativa (un 17% del total de titulados), Cuidados Auxiliares de Enfermería (un 12,6% del total) y Administración y Finanzas (un 10,8% del total).

Ciclos formativos de grados medio y superior		Contratos en el año	% contratos respecto al total titulados
Gestión administrativa	1º	155.649	17,0
Cuidados auxiliares de enfermería	2º	115.761	12,6
Administración y finanzas	3º	98.913	10,8
Educación infantil	4º	30.001	3,3
Electromecánica de vehículos automóviles	5º	26.455	2,9
Peluquería y cosmética capilar	6º	23.691	2,6
Equipos electrónicos de consumo	7º	22.859	2,5
Desarrollo de aplicaciones multiplataforma	8º	16.123	1,8
Laboratorio clínico y biomédico	9º	15.294	1,7
Mecanizado	10º	14.436	1,6
Actividades comerciales	11º	14.147	1,5
Cocina y gastronomía	12º	13.776	1,5
Integración social	13º	13.388	1,5
Mantenimiento electrónico	14º	13.344	1,5
Administración de sistemas informáticos en red	15º	12.857	1,4
Proyectos de edificación	16º	12.451	1,4
Automoción	17º	11.748	1,3
Estética y belleza	18º	10.819	1,2
Soldadura y calderería	19º	10.265	1,1
Asistencia a la dirección	20º	9.834	1,1

**Figura 2.** Número de contrataciones de ciclos formativos en 2014 (Fuente: Informe de Inserción en el Mercado Laboral de FP (Ministerio de Educación), 2014).

Por otra parte, si nos fijamos en la evolución del alumnado de FP en todos los niveles, teniendo además en cuenta la modalidad a distancia para grado medio y grado superior, en la Figura 3 se observa que el número de matriculados en grado medio y grado superior se ha incrementado hasta casi un 50% desde el curso 2007-2008 hasta el actual, pasando de 451.541 a 719.087 alumnos respectivamente.



**Figura 3.** Evolución del alumnado de FP entre los cursos 2007/2008 y 2015/2016 (Fuente: MECD, 2016).

A raíz de los resultados anteriores, considero que la principal causa del incremento del número de alumnos/as en FP se debe a que este tipo de enseñanzas de corta duración, presentan una mayor formación práctica y un estrecho vínculo con el mundo laboral como he podido observar durante mi experiencia en el *Prácticum*.

Otra de las novedades que la LOMCE (2013) plantea dentro de la FP, es la introducción de la FP Dual, regulada por el Real Decreto 1529/2012, de 8 de noviembre. Su implantación se hizo imitando al modelo alemán, ya que esta modalidad combina la formación en un centro educativo con la actividad laboral dentro de una empresa. Debido a ello, en los últimos años se ha producido un incremento del número de alumnos matriculados en FP dual, así como del número de centros donde se imparte. Este incremento puede deberse a lo atractivo que resulta el hecho de ganar dinero a la vez que uno se está formando y adaptando a su vez la formación a las necesidades reales de la propia empresa. Si nos fijamos en los resultados del seguimiento de proyectos de FP dual que ha llevado a cabo la Subdirección General de Orientación y Formación Profesional (SGOFP) a través del Ministerio de Educación, durante el curso 2013-2014 se observa que el número de alumnos se ha incrementado en un 100% en 2014 en comparación con el año anterior, siendo las comunidades con mayor número de alumnos Cataluña, Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana (Ver Figura 4.a). Además, si nos fijamos en el número de centros (Ver Figura 4.b), de 2013 a 2014 se ha producido un incremento en todas las comunidades autónomas, especialmente Cataluña, Euskadi, Castilla la Mancha, Andalucía y Comunidad Valenciana.

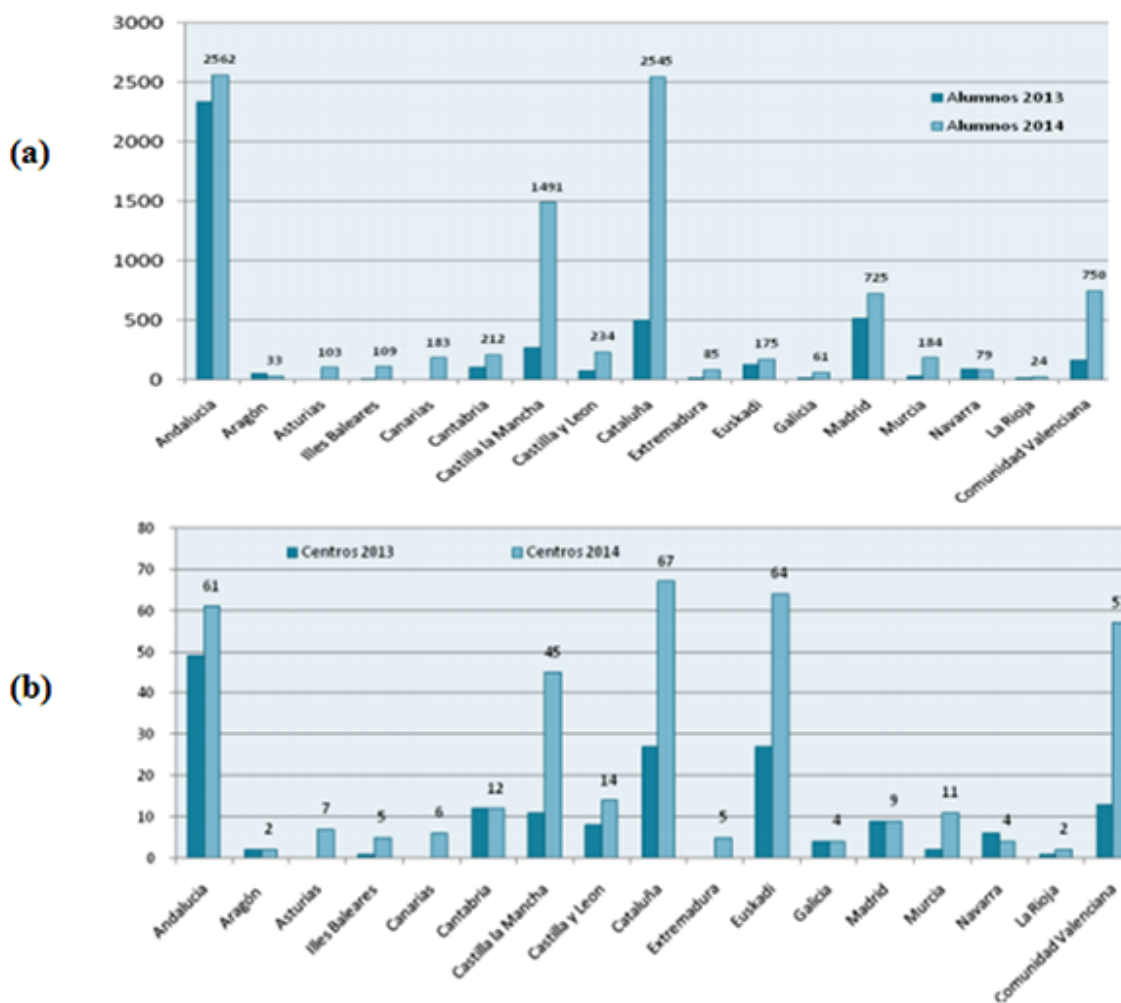


Figura 4. Número de alumnos (a) y centros (b) con FP dual (Fuente: SGOFP, 2014).



Sin embargo, a raíz de la información recibida en una ponencia que tuvimos en la asignatura de *Sistema Nacional de Cualificaciones y Formación Profesional* sobre la FP dual y en una entrevista con el responsable del Departamento de Innovación y Transferencia de Conocimiento durante mi primer período del *Prácticum* en el CPIFP “CORONA DE ARAGÓN”, se sabe que la FP dual también ha recibido algunas críticas por parte de algunos profesores y agentes sociales como los sindicatos, que aseguran que algunas empresas, no todas, aprovechan esta nueva modalidad para contar con mano de obra barata, camuflando los contratos de formación y aprendizaje de la FP dual por simples prácticas en empresa en las que el alumno recibe una beca salario pagada por la Administración Pública. Aunque yo no conozco en profundidad la FP dual, sí que comparto la opinión de que la FP dual, que se ha hecho siguiendo el modelo alemán, no se puede extrapolar a la situación actual del mercado laboral español, ya que Alemania se haya más industrializada que España, de tal manera que la FP dual no puede contribuir a crear el mismo nivel de empleo en nuestro país. Además, los contratos de formación y aprendizaje no presentan las mismas condiciones que los contratos laborales que pueden presentar otros trabajadores. También se ha hecho algunas críticas respecto a la formación que reciben los jóvenes en los centros educativos, ya que se presenta de forma condensada en un primer año y en el segundo año se pasa la mayor parte del tiempo en la empresa, de tal manera que como la empresa se dedica a unas determinadas labores, esto puede crear una cierta rigidez en la preparación del alumno, dejando fuera la posibilidad de aprender otro tipo de conocimientos y destrezas (Sánchez Caballero, D., 2015).

Entre la LOE (2006) y la LOMCE (2013), se emitió el Real Decreto 1147/2011, de 29 de julio por el se establece la ordenación de la FP en el sistema educativo, tomando como punto de partida la Ley Orgánica 5/2002, de 19 de junio, de las Cualificaciones y de la Formación Profesional, que ordena un sistema integral de FP, cualificaciones y acreditación que pueda responder con eficacia y transparencia a las demandas sociales y económicas a través de las diversas modalidades formativas. En este Real Decreto vienen especificados los principios y objetivos generales de la FP, la estructura de los módulos profesionales, las convalidaciones, los requisitos de acceso, criterios de evaluación, etc.

Además, según el artículo 11.4 de la Ley Orgánica 5/2002, de 19 de junio, se establece que las administraciones públicas dentro de su competencia, podrán crear y autorizar centros integrados de FP que impartan ofertas formativas referidas al artículo 10.1 de la presente Ley. Estas ofertas corresponderán a los títulos y los certificados de profesionalidad referidos al Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales. De esta manera, se estableció el Real Decreto 1558/2005, de 23 de diciembre, por el que se regulan los requisitos básicos de los Centros Integrados de Formación Profesional (CPIFP). En la actualidad, existen en la Comunidad Autónoma de Aragón cinco centros integrados.

Por último, dentro de este primer nivel curricular estarían los reales decretos que aprueban los currículos de los diferentes ciclos formativos de FP básica, grado medio y grado superior a nivel nacional, que luego las distintas comunidades autónomas los adaptan según las diferentes características de sus territorios.

### **3.2. Segundo nivel curricular**

En este nivel se sitúan todas aquellos decretos y/u órdenes que regulan los currículos de FP dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón, que como ya se ha comentado antes, cada autonomía desarrolla el currículo básico adaptándolo a su territorio.

Aquí destacaría la Orden de 29 de mayo de 2008, de la Consejera de Educación, Cultura y Deporte, por la que se establece la estructura básica de los currículos de los ciclos formativos de FP y su aplicación en la Comunidad Autónoma de Aragón. En esta orden vienen determinados los elementos del currículo de los ciclos formativos, la estructura de los módulos profesionales, el sistema de evaluación, la orientación y tutoría, la atención a la diversidad, ... Durante el máster, la estructura del currículo de un ciclo formativo la pude ver en profundidad en las asignaturas de *Fundamentos de Diseño Instruccional y Metodologías de Aprendizaje en Formación Profesional* durante el primer cuatrimestre y en *Diseño Curricular* y durante el segundo. También pude analizar la estructura del currículo de un título formativo durante mis períodos del *Prácticum*.

### 3.3. Tercer nivel curricular

Dentro de este nivel curricular como ya se ha mencionado en el Tabla 1 del principio, estarían principalmente el Proyecto Educativo del Centro (PEC), un documento que recoge los valores y señas de identidad de un centro, así como los Proyectos Curriculares (el currículo del centro) que son desarrollados por el equipo docente en sus centros a partir del currículo oficial de la comunidad autónoma. En definitiva, se trata de contextualizar los objetivos y contenidos a las características de cada centro.

El *Prácticum* lo realicé en el CPIFP “CORONA DE ARAGÓN” dentro de la familia profesional de Química de FP, donde tuve la oportunidad de familiarizarme con los documentos referentes a la organización y funcionamiento del centro, así como los distintos proyectos educativos y programas que allí se llevan a cabo. Por ello, durante mi estancia pude analizar algunos de los documentos más destacados como el Proyecto Funcional Plurianual del Centro (una versión del PEC para los centros integrados), el Plan Anual de Trabajo (la Programación General Anual para los CPIFP), así como otros documentos de gran relevancia como el Plan de Orientación, Plan de Acción Tutorial, el RRI y un Proyecto Curricular de Ciclo Formativo vinculado a la familia profesional de Química. Todo esto, me llevo a establecer la relación entre ellos en un mapa de documentos (Ver Figura 5). Para completar esta información que me ha permitido hacerme a la idea de cómo funciona un centro educativo, en este caso un centro integrado de FP a tiempo real, participé en varias entrevistas con diferentes profesionales del centro, de manera que esto me permitió contrastar esta información con lo que se contempla en la legislación vigente y lo que he visto en la teoría de algunas asignaturas como *Contexto de la Actividad Docente y Sistema Nacional de las Cualificaciones y Formación Profesional* entre otras.

Además, durante mi estancia en el *Prácticum*, también tuve la oportunidad de conocer los distintos órganos de gobierno, coordinación y participación de un centro integrado como es el CPIFP “CORONA DE ARAGÓN” en el cual elaboré un organigrama (Ver Figura 6) para establecer las distintas relaciones entre los mismos.

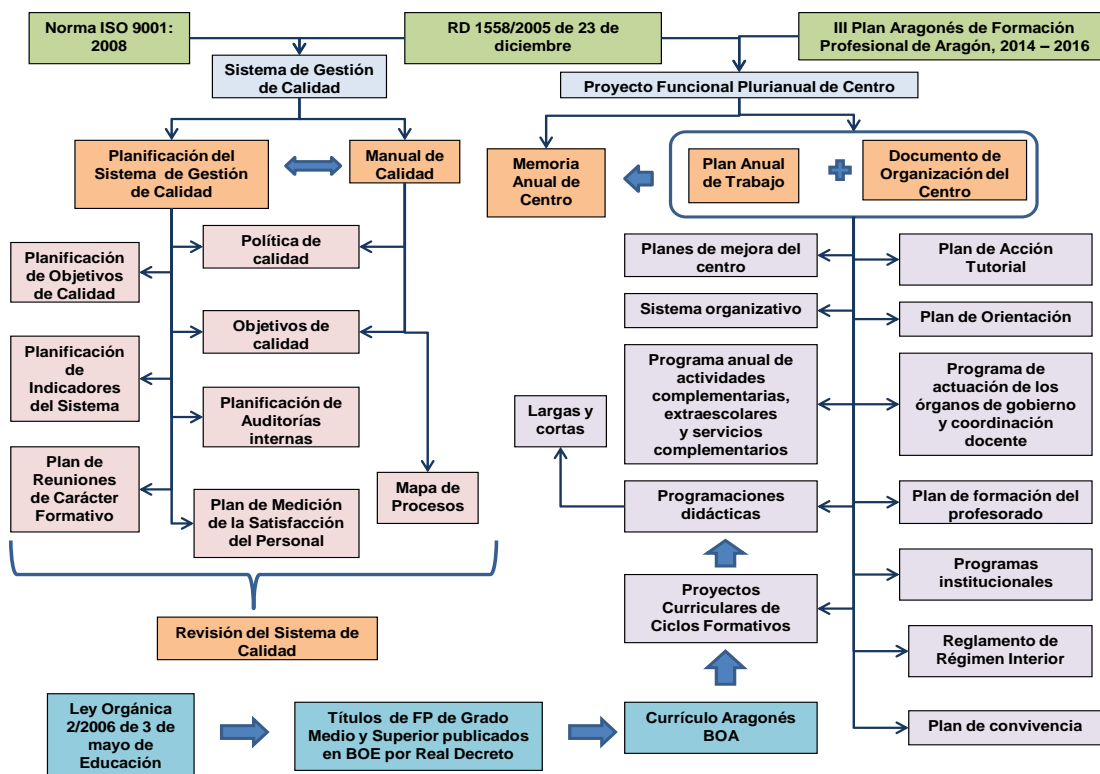


Figura 5. Mapa de documentos del CPIFP Corona de Aragón (Fuente: Elaboración propia).

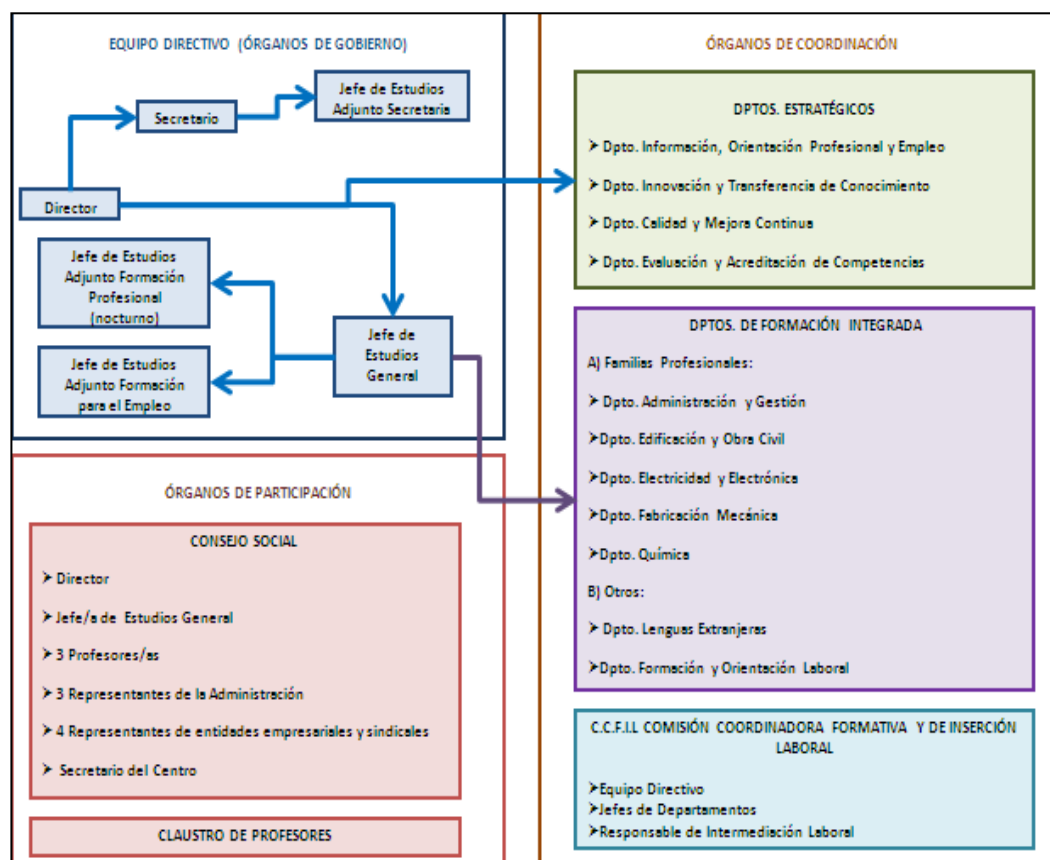


Figura 6. Organigrama del CPIFP Corona de Aragón (Fuente: Elaboración propia).

Durante mi primer período del *Prácticum* y en la asignatura de *Contexto de la Actividad Docente*, he podido observar algunas diferencias que presenta el Consejo Social en los centros integrados en comparación con los consejos escolares de los centros de secundaria. En el Consejo Social no hay representantes de los padres ni de los alumnos/as y sin embargo hay representantes de agentes sociales, lo cual pone de manifiesto la clara orientación de estos centros al mundo empresarial y laboral. Otra de las diferencias que presenta un centro integrado en comparación con los centros de secundaria convencionales, es la presencia de los Departamentos Estratégicos (Calidad y Mejora Continua,...), que dependen jerárquicamente del Director. Además, durante el *Prácticum* y en una ponencia que tuve en la asignatura de *Entorno Productivo*, he podido adquirir una visión global de cómo está organizado un Sistema de Gestión de Calidad en un centro educativo. Con ello, he podido concebir un SGC de un centro como una estructura compleja en la que se maneja una serie de documentos que constituyen el día a día de un centro educativo (cuaderno del profesor, procedimientos de evaluación,...). También, me he hecho una idea de lo que son los sistemas de auditorías, tan temidas en muchas empresas u otras entidades, pero que nos ayudan a mejorar nuestra actividad docente.

Por último, uno de los departamentos que en mi opinión tiene mucha relevancia es el Departamento de Innovación y Transferencia de Conocimiento, ya que tiene como principal función atender a aquellas necesidades formativas del profesorado. Considero que un profesor, y en particular uno de FP, deben formarse continuamente para adaptarse mejor a una sociedad en constante transformación y en base a las demandas del actual contexto sociolaboral.

### 3.4. Cuarto nivel curricular

El cuarto nivel curricular es a nivel del profesor o departamento didáctico y abarcaría las programaciones didácticas, que a su vez se dividen en unidades didácticas (Unidades de Trabajo en el caso de FP).

El concepto de Programación Didáctica (PD en adelante) y Unidad de Trabajo (UT en adelante), así como los distintos elementos que las constituyen, los he podido ver en profundidad en las asignaturas de *Fundamentos de Diseño Instruccional* y *Metodologías de Aprendizaje en Formación Profesional* en el primer cuatrimestre, así como en la asignatura del segundo cuatrimestre de *Diseño Curricular*. En esta última asignatura, tuve la oportunidad de elaborar una PD y una UT a partir de un módulo profesional de un ciclo formativo de grado superior que en este caso fue para el título de Técnico Superior en Vitivinicultura.

Según Palomar Sánchez (2010), la PD es un gran elemento en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que actúa como elemento integrador de todos los elementos que intervienen en él. Una PD es un proceso que coordina fines y medios que responde a cuatro cuestiones básicas (Palomar Sánchez, 2010, p. 1-2):

- ✓ *¿Qué objetivos se plantea alcanzar el profesor/a?*
- ✓ *¿Qué objetivos y competencias básicas deben desarrollar o alcanzar los alumnos?*
- ✓ *¿Qué actividades y tareas deben realizar los alumnos para alcanzarlos? y ¿Cómo organizar dichas tareas?*
- ✓ *¿Cómo evaluar los resultados y eficiencia de esas actividades en función de los objetivos propuestos?*

Esta misma autora considera que gracias a la PD, el profesor se halla libre de tensiones y/o indecisiones, así como el hecho de que permite una mejor orientación del aprendizaje y una continua mejora del proceso educativo. En el caso de FP, al igual que ya ocurre en las

enseñanzas de ESO y Bachillerato, la PD se halla dividida en unidades didácticas (UT en el caso de FP). Rodríguez Torres (2010) afirma que la unidad didáctica es el elemento específico de programación para una determinada secuencia temporal y / o temática. Su temporalización, su metodología y el resto de los constituyentes curriculares que la conforman, se planifican atendiendo al carácter globalizador e integrador de la Etapa y de la propia realidad. De esta manera, la programación se divide en pequeñas unidades más específicas secuenciadas que son las unidades didácticas.

En lo que respecta a los distintos elementos que componen la PD, podemos encontrar referencias de distintos autores como se observa en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Los elementos constituyentes de una PD según distintos autores.

ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE UN PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA	
Del Valle, Velázquez y Díaz (2003)	Del Valle y García (2007)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetivos generales de etapa</li> <li>• Objetivos generales del área, materia o módulo</li> <li>• Relación de los objetivos generales de etapa con los objetivos generales (área, materia, módulo)</li> <li>• Relación de los objetivos generales (área, materia, módulo) con los objetivos generales para el curso o ciclo que se programe y los contenidos</li> <li>• Distinción de contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales)</li> <li>• Temporalización de los contenidos</li> <li>• Progresión de los contenidos de un curso a otro</li> <li>• Metodología de trabajo</li> <li>• Orientaciones para la evaluación (criterios y procedimientos de evaluación y criterios de calificación)</li> <li>• Atención a la diversidad</li> <li>• Actividades complementarias y extracurriculares,</li> <li>• Recursos didácticos</li> <li>• Transversalidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción</li> <li>• Objetivos</li> <li>• Contenidos y su temporalización</li> <li>• Metodología</li> <li>• Evaluación</li> <li>• Medidas de atención a la diversidad</li> <li>• Actividades complementarias, extracurriculares e interdisciplinarias</li> <li>• Temas transversales</li> <li>• Recursos didácticos</li> <li>• Innovación e investigación</li> <li>• Desarrollo de las unidades didácticas</li> <li>• Bibliografía</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia.

En el caso de Del Valle y García (2007), los elementos de la PD se han establecido para la etapa educativa de ESO, pero también se podrían aplicar a otras etapas educativas.

Como ya he comentado antes, en la asignatura de *Diseño Curricular* tuve la oportunidad de elaborar una PD y una UT para el título profesional de técnico superior de Vitivinicultura, donde pude hacerme a la idea de cómo se estructura un curso completo, permitiéndome a mí como docente tener una planificación y seguimiento de las clases de cara a establecer mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Además, estos conocimientos los he podido complementar con la realización de diversas actividades dentro de la asignatura de *Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje*. En ambas asignaturas, hice uso de una ficha resumen para la elaboración de una UT (Ver Figura 7), que en mi opinión presenta muchas ventajas ya que es muy práctica y permite a un docente u otra persona hacerse una idea general del tipo de actividades que se hace, quien las hace, la metodología y recursos utilizados. Además también vienen reflejados los Resultados de Aprendizaje y los Criterios de Evaluación del título asociados a dicha UT, los objetivos específicos de la misma y los contenidos con su correspondiente tipología (saber, saber hacer, saber ser y estar).

Esta ficha resumen me ha sido de gran utilidad en el diseño de actividades durante mi período del *Prácticum* ya que me ha permitido planificar de forma ordenada y resumida las actividades, además de hacer uso de la misma en otras asignaturas como *Educación Secundaria de Personas Adultas, Evaluación e innovación docente y Entorno Productivo*.

UNIDAD DE TRABAJO N° X: "Título"					Duración: XX h				
RA x': <ul style="list-style-type: none"> <li>• CE 1.</li> <li>• CE 2.</li> <li>• ...</li> </ul> Objetivos de aprendizaje: <ol style="list-style-type: none"> <li>1.</li> <li>2.</li> <li>...</li> </ol>									
Contenidos					Tipología <sup>2</sup>	Bloques <sup>3</sup>			
						1	2		n
-									
-									
-									
-									
-									
Actividad				Metodología			Recursos		
QUE voy o van a hacer		Ob <sup>4</sup>	T <sup>5</sup>	QUIEN		COMO se va a hacer	Se hace PARA	CON QUE se va a hacer	
Tipo de actividad				Pr	Al				

<sup>1</sup> Anexo 1 (Orden, XX/XX/20XX).

<sup>2</sup> Saber, Saber hacer, Saber ser y estar.

<sup>3</sup> Opcional se puede eliminar.

<sup>4</sup> Objetivo(s) de aprendizaje que contribuye(n) a alcanzar la actividad.

<sup>5</sup> Tiempo asignado a la actividad (en minutos).

Figura 7. Tabla resumen de una UT (Fuente: Elaboración propia).

En el desarrollo de una PD se toman como referencia los Objetivos Generales, los Resultados de Aprendizaje y los Criterios de Evaluación que vienen reflejados en el currículo para cada título profesional de FP. Pero además, se tienen en cuenta otros aspectos que son de gran importancia como los contenidos, la metodología, evaluación y medidas de atención a la diversidad:

#### ○ **Contenidos:**

Como ya se ha visto en una actividad de la asignatura de *Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje* y en la fase de elaboración de una UT en la asignatura de *Diseño Curricular*, los contenidos pueden clasificarse tomando como referencia "los cuatro pilares de la educación" de Jacques Delors (1994): *saber* (capacidad de internalizar conocimientos), *saber hacer* (destrezas técnicas y procedimentales), *saber ser* (desarrollo de actitudes) y *saber estar o convivir* (competencias sociales).

#### ○ **Metodología:**

Aquí se tienen en cuenta las diversas teorías de enseñanza-aprendizaje atendiendo a las características del alumnado y a las materias que se han de impartir. Por ello, en muchas de las asignaturas del máster tales como *Procesos de Enseñanza-Aprendizaje*, *Interacción y Convivencia en el Aula*, *Fundamentos de Diseño Instruccional* y *Metodologías de Aprendizaje en Formación Profesional* en el primer cuatrimestre y en la asignatura del segundo cuatrimestre de *Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje*, se han hecho referencia a una serie de metodologías de enseñanza-aprendizaje (Ver Figura 8) en las que se han realizado algunos casos prácticos de aplicación:



**Figura 8.** Metodologías de enseñanza-aprendizaje (Fuente: Elaboración propia).

De todas las metodologías que se mencionan en la figura anterior, las que yo como futuro docente considero que son muy importantes para fomentar el aprendizaje son las siguientes:

- **Aprendizaje basado en problemas:** En este caso, el alumno resuelve un determinado problema aprendiendo y aplicando contenidos nuevos. Considero que esta metodología de aprendizaje es efectiva ya que algunos autores como Fernández Martínez, García Sánchez, Fuertes, Fidalgo Redondo y Arias Gundín (2006) demostraron que gracias a esta metodología, el alumno asume mayor responsabilidad en su propio aprendizaje (aprendizaje autodirigido) y al tener que enfrentarse a un problema sin preparación o explicación previa, esto constituye un estímulo para la organización y el aprendizaje. También, otros autores como Morral, Bou, Capitán, Díaz, Fatjó, Macaya, Montmany y Romero (2002) destacan algunos aspectos positivos como el desarrollo de habilidades para buscar y analizar la información de forma efectiva, el razonamiento crítico, la autoevaluación y establecer vínculos de los nuevos conocimientos con los ya se tienen (de ahí su relación con el *aprendizaje significativo*). Sin embargo, estos mismos autores señalan que este tipo de metodología puede generar estrés en algunos estudiantes, además de un gran esfuerzo y tiempo por parte del alumnado y el profesor.
- **Aprendizaje cooperativo:** Es un método de aprendizaje basado en el trabajo en equipo de los estudiantes. Incluye diversas y numerosas técnicas en las que los alumnos trabajan conjuntamente para lograr determinados objetivos comunes de los que son responsables todos los miembros del equipo (Universidad Politécnica de Madrid, 2008). Esta modalidad de aprendizaje me resulta interesante ya que tuve la oportunidad de participar en un caso práctico en la parte de psicología social de la asignatura de *Interacción y Convivencia en el Aula* en la que se ponía en práctica una de las técnicas más conocidas del aprendizaje cooperativo, que es el Rompecabezas (“Jigsaw”), acerca de nuestras actitudes al relacionarnos con otras culturas. Además, en la asignatura de la especialidad de *Entorno Productivo* también se realizó un caso práctico de Aprendizaje Cooperativo en el que a partir de un enunciado teníamos que ponernos de acuerdo en unos ítems vinculados al mismo. Primero se hacía de forma individual, luego en pequeño grupo y luego en gran grupo. Lo que se demostró es que en grupo los resultados son más satisfactorios que de forma individual. Algunos autores como Montoro Cabrera (2009) y Pujolás Maset (2008) señalan que el aprendizaje cooperativo presenta una serie de beneficios tales como la educación en base al diálogo, la convivencia y la solidaridad, mejora de los rendimientos académicos, de las relaciones humanas, de la motivación de los docentes y del

alumnado —tanto los que tienen muy desarrolladas sus capacidades y obtienen buenos resultados académicos, como de los alumnos que tienen mayores dificultades de aprendizaje—, así como del conjunto de las personas que componen el grupo-clase.

- Plataformas de enseñanza (2 modalidades: e-learning y b-learning): Como ya me explicaron en la asignatura de *Procesos de Enseñanza-Aprendizaje*, cada vez se utilizan más las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje, permitiendo una mayor facilidad de acceso a los distintos materiales didácticos y una mayor flexibilidad en espacio y tiempo. Algunas de estas posibilidades son las plataformas de enseñanza no presencial (*e-learning*) y/o enseñanza mixta (*b-learning*) donde se combina lo presencial con la enseñanza a través de internet. La modalidad *e-learning* presenta muchas ventajas como las siguientes (IMF Business School, 2016): aprendizaje activo, flexibilidad, seguimiento exhaustivo del proceso de formación, sin desplazamientos ni barreras geográficas, adaptación a tu ritmo de aprendizaje, el curso comienza cuando tú quieras, recursos virtuales ilimitados, contenidos actualizados y reducción de costes. Por otra parte, *b-learning* presenta unas ventajas muy parecidas a la modalidad *e-learning* como las siguientes (Ciberaula, 2015): la relación coste- efectividad tanto de para la institución que ofrece la formación como para el alumno, la rápida actualización de los materiales, nuevas formas de interacción entre alumno-profesor, accesibilidad a un puesto en la enseñanza secundaria, y flexibilidad en la planificación y la programación del curso. Si tengo en cuenta mi experiencia como estudiante en el presente máster, así como mi etapa formativa en Ingeniería Química, la modalidad *b-learning* ha sido la opción que más he utilizado, ya que me ha permitido combinar el aprendizaje a través de plataformas virtuales (*Moodle* y el *Anillo Digital Docente*) con las clases presenciales, permitiéndome una mayor flexibilidad y organización. Además, he realizado varios cursos a través de la modalidad *e-learning*, que a pesar de que también presenta algunas ventajas muy similares a *b-learning*, en este caso es más difícil establecer un *feedback* más directo con el profesor o tutor del curso.

Además, en la asignatura de *Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje* he aprendido una buena forma de detectar los estilos de aprendizaje del alumnado, que es a través de la realización del cuestionario<sup>2</sup> del *Índice de Estilos de Aprendizaje (ILS)*, en el que se evalúan las preferencias en cuatro dimensiones (activo/reflexivo, sensitivo/intuitivo, visual/verbal y secuencial/global). El ILS se ha aplicado en algunos centros educativos como es el caso de Teevan, Li y Schlesselman (2011), que aplicaron dicho cuestionario para evaluar la predominancia de los estilos de aprendizaje entre los estudiantes de farmacia en EEUU. Los resultados de este estudio reflejaron que en los 4 dominios, el 84% de los estudiantes mostró preferencias hacia la percepción sensorial, el 66% hacia las entradas visuales, y el 74% hacia la comprensión secuencial.

#### ○ **Evaluación:**

Aquí se puede realizar la evaluación tanto de los procesos de enseñanza y de la práctica docente como de los procesos de aprendizaje del alumnado. En lo que respecta al primero, en la asignatura de *Evaluación e innovación docente e investigación educativa* se ha llevado a cabo una actividad relacionada con la autoevaluación de la práctica docente en la que se han analizado una serie de ítems vinculados a tres categorías: planificación, realización de las clases y evaluación de los procesos de enseñanza-aprendizaje. La actividad docente es

---

<sup>2</sup>El cuestionario del Índice de Estilos de Aprendizaje (ILS) puede realizarse en el siguiente link: <https://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>



importante evaluarla para detectar los posibles errores que se cometen y poder establecer mejoras en la misma. Por ello, dicha actividad empieza con la planificación donde se tiene en cuenta las condiciones de tiempo y espacio, los objetivos generales del título, los resultados de aprendizaje y las realizaciones profesionales asociadas a los módulos. Después se valora la realización de clases, donde considero que es importante tener en cuenta la motivación de los alumnos de cara al proceso de enseñanza-aprendizaje, así como la propia automotivación de nosotros mismos como profesores. Finalmente, cabría destacar la evaluación de los procesos de aprendizaje de cara mejorarlos, revisar las programaciones y el funcionamiento del grupo-clase. Por otra parte, la realización de esta actividad me ha permitido evaluar mi propia práctica docente durante mis intervenciones en el *Prácticum*, tanto en las clases de teoría como en el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Por último, en lo que respecta a la evaluación de los procesos de aprendizaje del alumnado, se atiende a los Resultados de Aprendizaje que vienen reflejados en la legislación del título con sus Criterios de Evaluación correspondientes, de manera que se hace uso de los instrumentos de evaluación adecuados (exámenes, informes,...) para determinar si los alumnos alcanzan dichos resultados de aprendizaje. También se podrán realizar cuestionarios para conocer la opinión de los alumnos y de esta manera poder establecer mejoras en el proceso de aprendizaje. Considero que es interesante de cara a mi futura carrera como docente conocer de antemano la opinión de los alumnos acerca de los procesos de enseñanza-aprendizaje de cara a establecer mejoras en las metodologías y programaciones para los cursos siguientes y poder de esta manera mejorar a nivel profesional.

○ **Atención a la diversidad:**

Por último, habría que tener en cuenta la atención a la diversidad, muy presente en las últimas leyes educativas en lo que respecta a las necesidades y características del alumnado. De manera que se podría plantear un quinto nivel de concreción curricular más que lo formarían las adaptaciones curriculares individuales. Aunque en FP no tienen lugar las adaptaciones curriculares significativas, como sucede en el caso de la Educación Secundaria Obligatoria, sí que hay que tener en cuenta las adaptaciones para aquellos Alumnos con Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (ACNEAE). En este caso, destacarían las adaptaciones de espacio y tiempo para aquellos alumnos que tengan que compaginar la vida académica con la vida laboral y/o familiar (cuidado de hijos/as, personas mayores,...).

En FP también se toman medidas para favorecer a aquellos alumnos que presentan ciertas habilidades y destrezas por medio de actividades de ampliación y refuerzo, así como la posibilidad de realizar convalidaciones de algunos módulos a través de experiencia laboral o por medio de otros ciclos formativos o certificados de profesionalidad, como he podido observar durante la realización de la PD en la asignatura de *Diseño Curricular* y durante mi experiencia en el *Prácticum* al analizar los currículos de los títulos de mi familia profesional. Además, al inicio de mis intervenciones durante el *Prácticum*, les hice a mis alumnos/as una prueba a de conocimientos previos para hacerme una idea general de los distintos niveles que hay en el aula y para adaptar mis clases a la diversidad presente en la misma.

#### 4. Justificación

A lo largo de este curso he ido adquiriendo una serie de conocimientos y destrezas tanto de las asignaturas que he cursado del máster, como en los períodos de *Prácticum* en el CPIFP “CORONA DE ARAGÓN”, de tal manera que me han permitido tener una idea general de lo que es la profesión docente. Para la adquisición de dichos conocimientos y destrezas, he realizado una amplia variedad de trabajos y actividades en las distintas asignaturas, tanto a nivel individual como en grupo.

Por ello, he establecido tres criterios para elegir unos trabajos de cara a realizar una reflexión crítica acerca de los aprendizajes que este máster me ha aportado para mi futura carrera docente.

El primer criterio está basado en las competencias que se pretenden desarrollar según la guía docente del Trabajo Fin de Máster, que son las siguientes:

1. Integrarse en la profesión docente, comprendiendo su marco legal e institucional, su situación y retos en la sociedad actual y los contextos sociales y familiares que rodean y condicionan el desempeño docente, e integrarse y participar en la organización de los centros educativos y contribuir a sus proyectos y actividades.
4. Establecer puntos de conexión y relación entre las diferentes planificaciones, diseños, desarrollo de actividades de aprendizaje y de evaluación en las especialidades y materias de su competencia.
5. Evaluar, innovar e investigar sobre los propios procesos de enseñanza en el objetivo de la mejora continua de su desempeño docente y de la tarea educativa del centro.

Se establecen las competencias del TFM que cubren cada uno de los trabajos propuestos. Para cada uno de los trabajos se ha valorado con una escala de 0 a 2 su relación con cada una de las competencias: 0 (nada), 1 (algo) y 2 (mucho).

El segundo criterio tiene que ver con la máxima integración de todos los conocimientos posibles, es decir, se establece un vínculo entre los trabajos realizados y las distintas asignaturas del máster, de tal manera que puede haber varios trabajos que engloban distintos aspectos que se han trabajado en varias asignaturas a la vez.

Y como tercer y último criterio esta la valoración personal, ya que considero que aquellos trabajos que han supuesto una mayor satisfacción personal y cuyo esfuerzo y dedicación ha merecido la pena realizar, son aquellos en los que se debe reflexionar más. Por otra parte, este último criterio presenta un carácter más subjetivo. La valoración personal se ha determinado a través de una escala de 1 a 4: 1 (insuficiente), 2 (regular), 3 (buena) y 4 (excelente).

En la Tabla 3 se muestra la relación que existe entre los trabajos y actividades realizadas en el máster y los criterios previamente establecidos. Se puede también observar en la misma tabla que los trabajos seleccionados son aquellos que aparecen marcados en negrita:

**Tabla 3.-** Justificación de la elección de trabajos para el TFM.

TRABAJO/ACTIVIDAD	COMPETENCIAS DEL TFM <sup>3</sup>			ASIGNATURAS DEL MÁSTER CON LAS QUE ESTÁN RELACIONADOS <sup>4</sup>	VALORACIÓN PERSONAL <sup>5</sup>			
	1	4	5		1	2	3	4
Contexto del centro y de la normativa FP	2	0	0	A1, A8, A9, A11			X	
Estudio en profundidad del Plan de Orientación del centro	2	0	0	A1, A8, A11		X		
<b>Análisis de grupo-clase y estudio comparativo (Prácticum)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>A1, A4, A5, A7, A8, A9, A10</b>				<b>X</b>
Programación didáctica y Unidad de Trabajo	2	2	1	A1, A2, A3, A4, A5, A7, A10, A11			X	
Características que diferencian la Educación de Adultos de la educación en la niñez y en la adolescencia	1	0	1	A1, A2, A3, A6, A7, A8, A10, A11		X		
Trabajo Final de Entorno Productivo	1	0	2	A1, A3, A4, A9			X	
Violencia de Género en el aula	1	1	0	A1, A8, A9		X		
<b>Diseño de actividades y materiales (Prácticum)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>A1, A2, A3, A5, A7, A10</b>				<b>X</b>
<b>Proyecto de Innovación</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>A1, A2, A3, A5, A7, A10</b>				<b>X</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>3</sup>Escala de la valoración de las competencias: 0 (nada), 1 (algo) y 2 (mucho).

<sup>4</sup>Listado de asignaturas del máster:

- A1 (Contexto de la actividad docente)
- A2 (Diseño curricular de Formación Profesional)
- A3 (Diseño, organización y desarrollo de actividades,...)
- A4 (Entorno productivo...)
- A5 (Evaluación e innovación docente e investigación educativa)
- A6 (Educación secundaria para personas adultas)
- A7 (Fundamentos de diseño instruccional y metodologías de aprendizaje)
- A8 (Interacción y convivencia en el aula)
- A9 (Prevención y resolución de conflictos)
- A10 (Procesos de enseñanza-aprendizaje)
- A11 (Sistema Nacional de Cualificaciones y de Formación Profesional)

<sup>5</sup>Escala de la valoración personal: 1 (insuficiente), 2 (regular), 3 (buena) y 4 (excelente).

Como se observa en la Tabla 3, los tres trabajos seleccionados que vienen señalados con letra negrita, cumplen con las tres competencias del TFM en diferente grado cada uno de ellos.

## 5. Reflexiones

### 5.1. Análisis de grupo-clase y estudio comparativo

#### Introducción:

Los grupos que se han analizado son el primer curso del Ciclo Formativo de Grado Superior de Química Industrial y el segundo curso del Ciclo Formativo de Grado Medio de Operaciones de laboratorio. En este caso, este trabajo lo hice con un compañero de la especialidad, Víctor Ivorra Ruíz, que también tenía la misma tutora del *Prácticum* y estaba en la misma familia profesional de Química.

A continuación, se va a hacer una reflexión crítica acerca de la metodología utilizada, así como la relación del trabajo con las competencias del TFM y los vínculos que hay con respecto a los otros trabajos realizados y que también se van a analizar en la presente memoria.

#### Reflexión crítica de la metodología utilizada:

Para realizar el presente trabajo, se ha recopilado información tanto del Grado Medio de Operaciones de laboratorio (Ver Figura 9) como del Grado Superior de Química Industrial (Ver Figura 10) por medio de las siguientes vías:

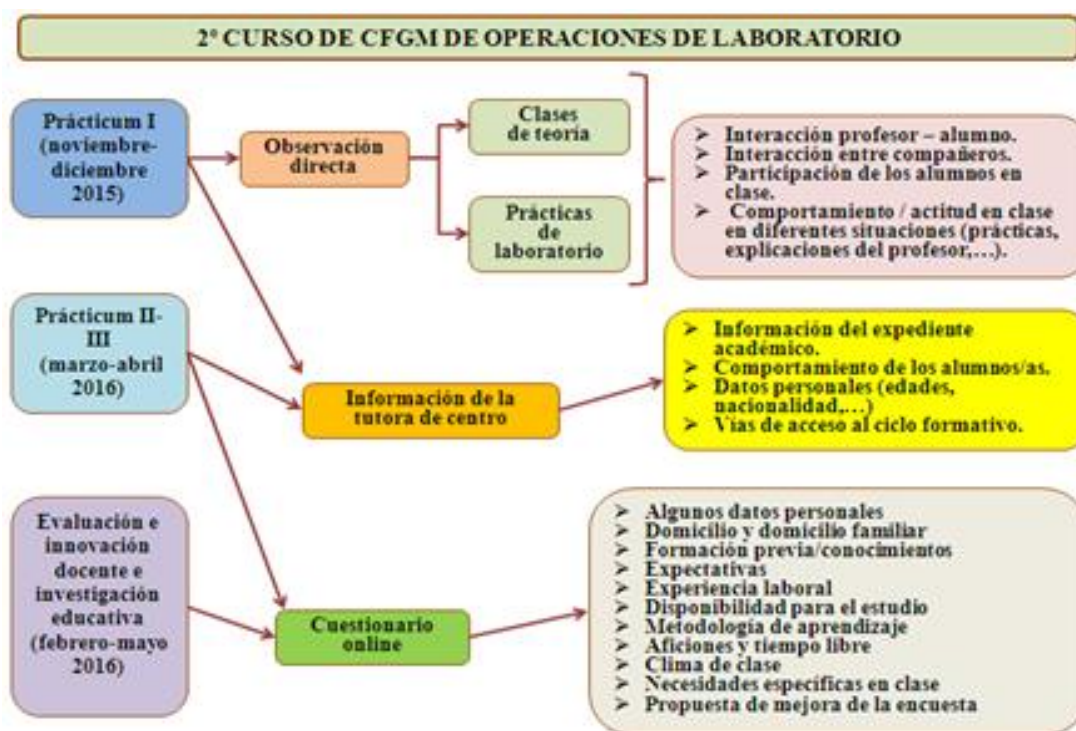


Figura 9. Fuentes de información para el CFGM de Operaciones de laboratorio (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 10.** Fuentes de información para el CFGS de Química Industrial (**Fuente:** Elaboración propia).

Como se observa en las figuras anteriores, una de las vías que se ha utilizado para la recogida de información, ha sido la realización de un cuestionario online<sup>6</sup> en la asignatura de *Evaluación e innovación docente e investigación educativa*, con el propósito de hacer un análisis comparativo de dos grupos de alumnos de cursos de distinto nivel formativo, con referencia a diversos factores como el comportamiento en clase, los estudios de procedencia, así como las expectativas de futuro y las metodologías de aprendizaje. La elaboración de este cuestionario estaría dentro de la parte correspondiente a *investigación educativa* dentro de la asignatura que antes se ha mencionado y el principal propósito de este cuestionario es conocer en profundidad al alumnado del grupo-clase con el que se va a trabajar. Gracias a esta información, como docente puedo plantear algunas estrategias en lo que respecta a los procesos de enseñanza-aprendizaje, adaptándome a las necesidades y características de mis alumnos. Algunos autores como Cardoso Moreno (2009) considera que es importante obtener información previa de los alumnos de cara a plantear estrategias. En este caso, se habla del *Bachillerato a Distancia de Adultos* que he podido conocer en profundidad en la optativa de *Educación Secundaria para Personas Adultas* pero también podría extrapolarse al caso de la FP de grado medio y superior, ya que en el caso del CPIFP “CORONA DE ARAGÓN” también se imparte la modalidad a distancia como es el caso del segundo curso de grado medio de Operaciones de Laboratorio y el grado superior de Laboratorio de análisis y de control de calidad.

La elaboración del cuestionario se ha realizado en las siguientes fases:

- Identificación de qué aspectos son relevantes para describir a los alumnos.
- Identificación de fuentes de información para extraer esos aspectos.
- Realización del borrador del cuestionario para el alumnado en un documento Word.

<sup>6</sup>Ver el cuestionario en el enlace web de Google forms: <http://goo.gl/forms/OzvP3tayZP>

- Realización del cuestionario en la aplicación de Cuestionarios que permite Google Drive, tras haber hecho las correcciones pertinentes.

Se podría establecer una relación entre las asignaturas cursadas y algunos aspectos que se han tratado en el cuestionario como se observa en la Tabla 4:

**Tabla 4.-** Relación entre aspectos del cuestionario y asignaturas del máster de profesorado.

	Formación previa	Expectativas	Metodología de aprendizaje	Clima del clase	Necesidades específicas en clase
Contexto de la actividad docente	X	X			X
Entorno Productivo	X				
Fundamentos de diseño instruccional y metodologías de aprendizaje	X		X		
Interacción y convivencia en el aula				X	
Prevención y resolución de conflictos				X	
Procesos de enseñanza-aprendizaje	X	X	X	X	X

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 4, en FP de grado medio y superior es muy importante tener en cuenta la formación y los conocimientos previos del alumnado de cara al diseño y puesta en marcha de las actividades en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Para ello, ha sido muy útil tener en cuenta lo que he estudiado en la parte de *didáctica y organización escolar* de *Contexto de la actividad docente* sobre el perfil de los alumnos y la relación que hay entre las distintas enseñanzas del sistema educativo. Además, a raíz de lo que he estudiado en *Entorno productivo* en lo que respecta a las materias de Prevención de Riesgos Laborales, Medio Ambiente y Calidad, en las preguntas vinculadas a los conocimientos previos se les ha planteado a los alumnos/as si habían recibido algún tipo de formación relacionada con la Prevención de Riesgos Laborales o si tenían algunos conocimientos en materia de medio ambiente. En lo que respecta a la asignatura de *Procesos de Enseñanza-Aprendizaje*, se ha tenido en cuenta la importancia de las TIC de tal manera que se les ha planteado algunas preguntas relacionadas con el manejo de internet, correo electrónico, hojas de cálculo... Toda esta información acerca del conocimiento de materias de PRL, medio ambiente y manejo de las TIC, me ha servido de cara a la preparación de las sesiones de prácticas de laboratorio, ya que una de las tareas que les he planteado a mis alumnos es la elaboración de un informe de la práctica que implica el manejo de procesadores de texto y fijarse en las medidas de seguridad durante las prácticas y la gestión de los residuos del laboratorio.

El uso de las TIC es una buena forma de promover el *aprendizaje significativo* de David Ausubel, que ya se ha estudiado en las asignaturas de *Procesos de enseñanza-aprendizaje* y *Fundamentos del Diseño Instruccional y metodologías de Aprendizaje*. Sin embargo, algunos estudios como el de Ariza y Quesada (2014) han demostrado que si bien el uso de las TIC fomenta el *aprendizaje significativo*, la experiencia muestra también que los alumnos no siempre interpretan de forma adecuada los gráficos e imágenes visualizadas. Por lo tanto, si no se les instruye adecuadamente en las formas de representación específicas, o si carecen de la orientación oportuna, los recursos digitales pueden reforzar sus errores conceptuales, en vez de

facilitar la asimilación y comprensión de las ideas científicas. Por consiguiente, es necesario acompañar al alumno en la construcción de su conocimiento.

En las expectativas de futuro, he tenido en cuenta las distintas modalidades que presenta el sistema educativo en nuestro país, como he podido conocer en la parte de *didáctica y organización escolar* de *Contexto de la actividad docente*. Por otra parte, he tenido en cuenta el grado de motivación y afinidad hacia los estudios cursados como ya he estudiado en *Procesos de Enseñanza-Aprendizaje* los tipos de motivación y las medidas para mejorar la motivación del alumnado.

Uno de los aspectos de este cuestionario que han sido muy relevantes de cara al *diseño de actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación*, así como el *diseño de los materiales* para las intervenciones durante el *Prácticum* es sin duda aquellas cuestiones relacionadas con las metodologías de aprendizaje. El saber cómo los alumnos hacen frente a los procesos de aprendizaje es fundamental para un docente de cara a la programación y realización de las clases. Por ello, se ha hecho uso de algunos conceptos teóricos acerca del aprendizaje que se han visto en las asignaturas de *Procesos de Enseñanza-Aprendizaje* y *Fundamentos de diseño instruccional y metodologías de aprendizaje* como es el caso de la pirámide de aprendizaje de Edgar Dale (Ver Figura 11). De esta manera, algunas preguntas del cuestionario han sido del tipo *¿De qué manera te resulta más fácil aprender algo?* o *Durante las explicaciones del profesor, te es más fácil seguir las explicaciones...* o *En clase lo que más te gusta para aprender es que...* en las que se ha puesto de manifiesto que la mayoría de los alumnos prefieren que se organicen actividades prácticas en las que tengan que hacer cosas y puedan moverse.



**Figura 11.** Pirámide de aprendizaje de Edgar Dale (Fuente: Blog de “Comprensión lectora basada en evidencias”: <https://clbe.wordpress.com/2013/01/29/el-cono-de-edgar-dale-dejamos-de-leer/>).

No obstante, revisando mi cuestionario y a la vista de las reflexiones, quizá debería haber profundizado más en los estilos de aprendizaje. Por ello, pienso que habría sido más adecuado proponerles a mis alumnos/as la realización del cuestionario online del *Índice de Estilos de Aprendizaje (ILS)*, el cual he podido realizar en la asignatura de *Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje*. En dicho cuestionario se evalúan las preferencias en 4 dimensiones (activo/reflexivo, sensitivo/intuitivo, visual/verbal y secuencial/global).

A la hora de plantear cuestiones relacionadas con el clima de clase, he tomado como referencia aquellos aspectos relacionados con la psicología social que he estudiado en las asignaturas de *Interacción y Convivencia en el Aula* y en *Prevención y Resolución de Conflictos* en lo que respecta a la relación entre los alumnos y el compañerismo presente en el aula. Aunque en este caso, tratándose de un grado superior y siendo todos mayores de 18 años, el clima en el aula en general ha sido bastante bueno y ha habido un fuerte compañerismo, como he podido observar tanto en las sesiones de teoría como en las prácticas de laboratorio.

Se ha tratado también en el cuestionario las necesidades específicas en clase. En este caso, y como consecuencia de la información que pudimos obtener a través de la observación directa y del profesorado, los alumnos de ambos ciclos formativos, grado medio y grado superior, no presentaban ningún tipo de discapacidad u otra necesidad específica.

Por último, he de comentar que la participación del alumnado en la cumplimentación del cuestionario elaborado por mi compañero Víctor y yo, fue baja en general, especialmente en lo que respecta a los estudiantes de grado medio. Para el caso de grado superior hubo más participación aunque no como hubiéramos deseado. Pensamos que las posibles causas puedan deberse a que encuesta tal vez resulte muy larga, lo que pudiera haber desistido a algún alumno de haberla realizado. Además, también podría deberse a la falta de incentivos para que los alumnos rellenen la encuesta. Por ello, pensamos que lo que se podría haber hecho es plantear la encuesta durante un periodo de tiempo concreto y suficiente al comienzo del *Prácticum*. También, podría haberse acortado la encuesta, por ejemplo, eliminando algunas preguntas que no son tan importantes de cara al análisis (como podría ser: experiencia laboral no relacionada con la familia profesional), eliminando algunas que son bastante similares a otras o modificando los enunciados de algunas preguntas de modo que sus respuestas fueran más fáciles y rápidas, o cambiando la configuración de las respuestas, pasando de respuestas abiertas (donde escriben los alumnos) a respuestas cerradas (donde los alumnos deben escoger entre una serie de respuestas posibles). Otras posibles mejoras podrían haber sido dar algún incentivo al alumnado para la realización de encuestas. Por ejemplo, podría tenerse en cuenta para subir los resultados del módulo en una pequeña cantidad (una décima, por ejemplo), si la totalidad del alumnado que pueda, hubiera respondido a la encuesta. O bien dar la posibilidad de hacerla de manera presencial en clase, con ordenador o en papel.

### **Reflexión crítica de la relación del trabajo con las competencias del TFM:**

Con respecto a la competencia nº1:

*“Integrarse en la profesión docente, comprendiendo su marco legal e institucional, su situación y retos en la sociedad actual y los contextos sociales y familiares que rodean y condicionan el desempeño docente, e integrarse y participar en la organización de los centros educativos y contribuir a sus proyectos y actividades.”*

En este caso, la comprensión de los contextos sociales y familiares se lleva a cabo en los análisis de grupo clase y estudio comparativo, tanto a través de la información proporcionada por mi tutora y otros profesores del centro como a partir de la información recogida a través del cuestionario en lo que respecta a datos personales, estudios de procedencia, domicilio familiar, nacionalidad, edad... Por otra parte, esta información me ha permitido hacerme a la idea de las características que presenta un determinado grupo de alumnos en dos ciclos formativos diferentes. Estos contextos me condicionan de cara a mi labor docente, ya que a partir de cierta información como las metodologías de aprendizaje y los estudios previos, he podido diseñar mis actividades y materiales de una forma más efectiva atendiendo a las características concretas del alumnado.



Con respecto a la competencia nº4:

*“Establecer puntos de conexión y relación entre las diferentes planificaciones, diseños, desarrollo de actividades de aprendizaje y de evaluación en las especialidades y materias de su competencia.”*

En este caso, la realización de este trabajo me ha permitido contextualizar adecuadamente un grupo-clase como es el primer curso del CFGS de Química Industrial de cara a realizar el diseño de actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación, así como poder establecer adecuadamente las relaciones entre las distintas actividades realizadas. Por otra parte, considero que todo docente tiene que hacer un estudio previo de las características del grupo-clase antes de llevar a cabo las planificaciones, diseños y desarrollo de actividades de enseñanza-aprendizaje y de evaluación.

Con respecto a la competencia nº5:

*“Evaluar, innovar e investigar sobre los propios procesos de enseñanza en el objetivo de la mejora continua de su desempeño docente y de la tarea educativa del centro.”*

En este caso, la realización de este trabajo me ha permitido investigar acerca de los propios procesos de enseñanza-aprendizaje a través del análisis de la información vinculada a las metodologías de aprendizaje y a la disponibilidad hacia el estudio de cara a introducir mejoras en el desempeño de mi labor docente y del centro dentro de mi familia profesional.

### **Relación con los otros trabajos seleccionados:**

La realización del análisis de los grupos-clase, así como el estudio comparativo entre ambos, me ha servido como punto de partida para la *elaboración de los materiales y diseño de actividades* para mis intervenciones en el primer curso del grado superior de Química Industrial.

Además, los resultados del *análisis de grupo-clase* en lo que respecta al 1º curso del grado superior de Química Industrial, me han servido como referencia para la contextualización de mi *Proyecto de Innovación*, que es otro de los trabajos que se va a analizar de forma crítica y reflexiva en la presente memoria. Sin embargo, como mi proyecto no se ha llegado a implantar en el centro, hay que considerar que las características del alumnado del primer curso de Química Industrial varían de un año para otro, pero son un buen punto de partida de cara al diseño de las actividades del proyecto.

## **5.2. Diseño de actividades y materiales**

### **Introducción:**

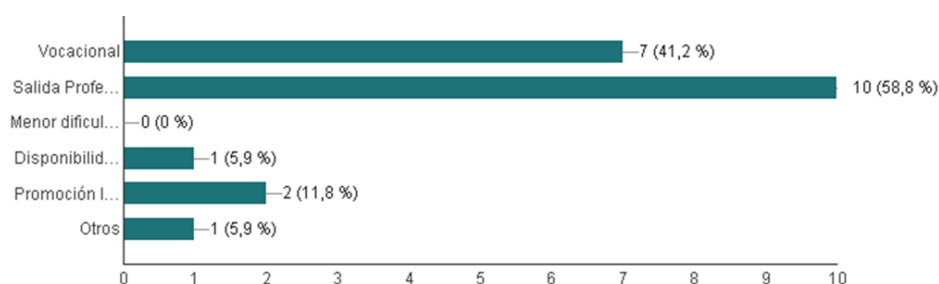
A continuación se va a hacer una reflexión crítica del diseño de actividades, la elaboración de materiales del *Prácticum II*, así como la relación del trabajo con las competencias del TFM y los vínculos que hay con respecto a los otros trabajos realizados y que también se van a analizar en la presente memoria.

### **Reflexión crítica de los materiales elaborados:**

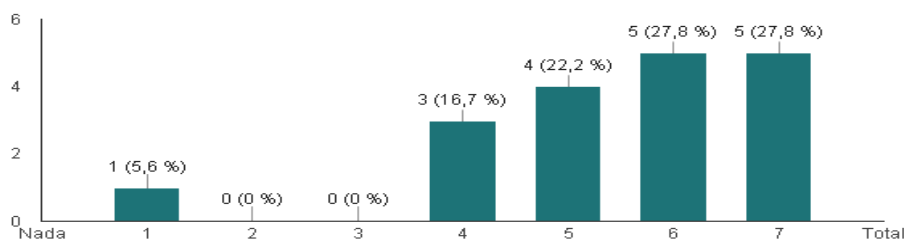
El primer día del *Prácticum II* mis tutores me confirmaron cual iba a ser el grupo clase con el que iba a trabajar mis intervenciones en el aula. En aquel momento, estaba algo nervioso y escéptico, ya que mi tutora del centro me comentó en el primer *Prácticum* que no iba a dar clase al grupo de 2º curso de grado medio de Operaciones de laboratorio en el que ella es tutora. Esto es debido a que durante el 2º cuatrimestre la mayor parte de los alumnos de este

curso se van a realizar el módulo práctico FCT a las empresas, de manera que mi tutora se quedaba sin alumnos.

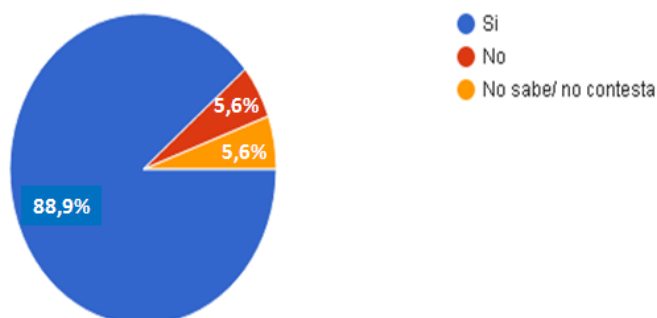
El grupo-clase con el que me ha tocado trabajar y que ya he comentado en el análisis del primer trabajo, ha sido el 1º curso de grado superior de Química Industrial, formado por 28 alumnos (22 chicos y 6 chicas) con edades entre 18 y 48 años. Más del 50% procedían de bachillerato y la mayoría eran españoles (un 77,8% según los resultados de la encuesta). Por los resultados de la encuesta y por lo que he podido observar en el *Prácticum*, la mayoría mostraban mucha motivación y afinidad hacia los estudios cursados (Ver Figura 12 y 13) y tenían buenas expectativas de cara a encontrar un empleo o promocionar dentro del empleo que ya se tiene, tras superar el ciclo formativo (Ver Figura 14).



**Figura 12.** Respuestas a la pregunta de *Motivación hacia los estudios que se estén cursando* (Fuente: Respuesta extraída del cuestionario online elaborado).



**Figura 13.** Respuestas a la pregunta del cuestionario *Afinidad a los estudios que se están cursando* (Fuente: Respuesta extraída del cuestionario online elaborado).

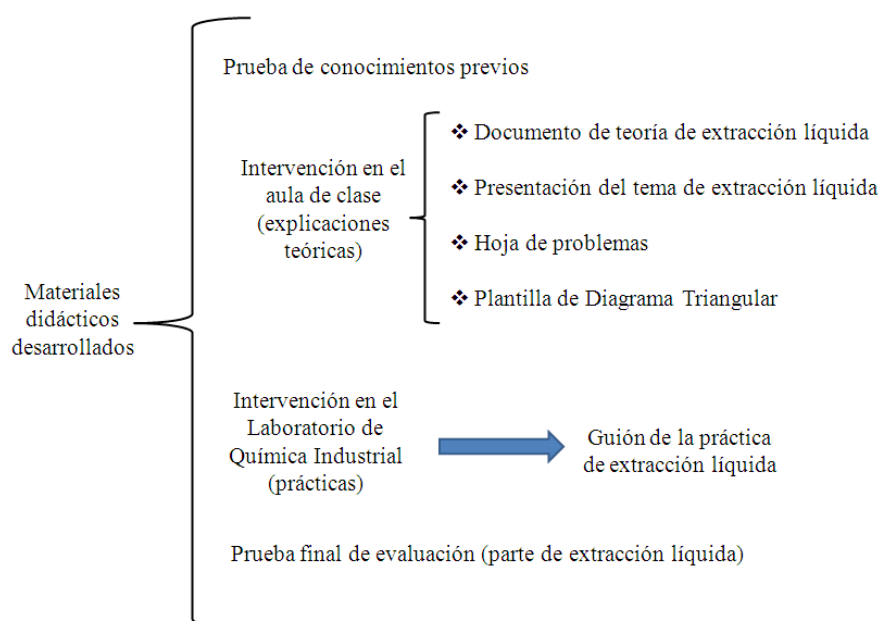


**Figura 14.** Respuestas a la pregunta del cuestionario *¿Crees que superar este Ciclo Formativo te va a facilitar encontrar un empleo, o en el caso de que ya tengas uno estable, poder promocionar o encontrar uno mejor?* (Fuente: Respuesta extraída del cuestionario online elaborado).

Dentro de este ciclo formativo, a mi compañero y a mí nos había tocado impartir la *Unidad de Trabajo 8 de Extracción* del módulo profesional de *Operaciones básicas en la industria química* que en ese momento la profesora se hallaba de baja maternal y estaban a la espera de que se incorporara una suplente. En mi caso, me tocó la parte de *extracción líquido-líquido*, una temática que ya había estudiado durante mi formación como ingeniero químico en la Universidad de Zaragoza. Fue en ese momento cuando empecé a recopilar información para la elaboración de los materiales de cara a mis imparticiones.

Lo primero que hice fue consultar los materiales presentes en el centro que muchos de ellos estaban desfasados y eran muy escasos. Por ello, tuve que hacer uso de mis apuntes y libros de la carrera como el *Manual del Ingeniero Químico Perry*. La principal dificultad que tuve, fue adaptar el nivel de dichos materiales al caso de un grado superior como es Química Industrial. Sí que me di cuenta de que los contenidos eran muy similares a los que ya había visto en la carrera, pero el nivel se distanciaba mucho, ya que había fórmulas y conceptos muy complejos que no se llegan a impartir en un grado superior. Por consiguiente, una de las medidas que adopté fue aprovechar las sesiones de observación al grupo durante la realización de las prácticas del módulo profesional de *Regulación y control*, impartidas por mi tutora y por otro profesor del departamento. Durante estas sesiones, pude conocer más en profundidad a los que iban a ser mis alumnos/as, de manera que les pregunté de donde venían, el motivo por el cual estaban cursando estos estudios y que expectativas de futuro tenían. Con toda esta información pude hacerme a la idea del nivel que tenía el alumnado en ese momento. También tuve en cuenta los comentarios de los profesores que imparten clase a este grupo, que me dijeron que tenían muchas dificultades con los cálculos matemáticos y una gran motivación hacia el trabajo práctico a nivel de laboratorio. Por otra parte, toda esta información también me sirvió para la realización del análisis del grupo-clase y el estudio comparativo.

Por consiguiente, a la hora de elaborar mis materiales, decidí darles un enfoque hacía unos contenidos más descriptivos, con poca presencia de cálculos matemáticos y con una clara orientación hacia el trabajo práctico. De esta manera, los materiales que he elaborado, los cuales se hicieron en función de las actividades que he llevado a cabo con el grupo clase y que luego se va reflexionar sobre ellas, son los que aparecen en el esquema de la siguiente figura:



**Figura 15.-** Materiales didácticos desarrollados en el *Prácticum II* (Fuente: Elaboración propia).

Los materiales elaborados pueden consultarse en los Anexos.

La elaboración de estos materiales me ha permitido darme cuenta de que el trabajo de un profesor no solamente consiste en impartir las clases, sino que hay gran trabajo previo de por medio (preparación de materiales, adecuación de los contenidos,...). Una de las cuestiones de las que me di cuenta después de mis intervenciones, fue que había elaborado más material de lo normal y que el nivel se asemejaba al universitario, ya que mis tutores del *Prácticum* me lo comentaron posteriormente. Por ello, pienso que en el caso de FP y en particular en grado superior, que es donde he tenido mi primera experiencia como docente a tiempo real, las principales dificultades que he encontrado son las siguientes:

- Adecuación de los contenidos al nivel del grupo-clase (como medida para atender a esta dificultad me ha sido de utilidad conocer previamente a mis alumnos en lo que respecta a la formación previa y la motivación hacia los estudios).
- Ausencia de libros de texto y documentos perfectamente actualizados (como medida para atender a esta dificultad me ha sido de utilidad mis apuntes y libros de la carrera, así como la documentación obtenida de otras fuentes como internet, bibliotecas,...).

A partir de la elaboración de los materiales y a partir de las dificultades que he tenido a lo largo del camino, me he dado cuenta de que la mejor forma de aprender es haciendo, frente a la escucha, ya que tomaba como partida las indicaciones que me tutora me indicaba pero luego los materiales los podía modelar de la mejor forma posible conforme a las imparticiones. Por ejemplo, en el caso de la presentación en PowerPoint del tema de extracción líquida, en función del tiempo que disponía solía adaptar los contenidos en función de las diapositivas y hacía uso de buenos recursos visuales y con presencia de animaciones para captar mejor la atención del alumnado. Esta experiencia me ha permitido superar el “miedo a equivocarse” que considero que es fundamental en la profesión docente, ya que los errores son un incentivo para la mejora continua.

Una vez que se he analizado críticamente los materiales elaborados, voy a hacer un análisis crítico y reflexivo sobre las actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación del *Prácticum*.

### **Reflexión crítica de las actividades realizadas:**

En una reunión previa que mi compañero y yo tuvimos con nuestra tutora del centro, ésta nos comentó las clases de teoría y sesiones prácticas que teníamos que realizar, que en mi caso fueron las siguientes:

#### Semana I (18-22 abril de 2016):

- Clase de teoría en el aula de clase.
  - Prueba inicial de conocimientos previos.
  - Explicación de teoría de extracción líquido-líquido.
  - Resolución de problemas
- Prácticas de laboratorio de Extracción líquida en el Laboratorio de Química Industrial.

#### Semana II (25-29 abril de 2016):

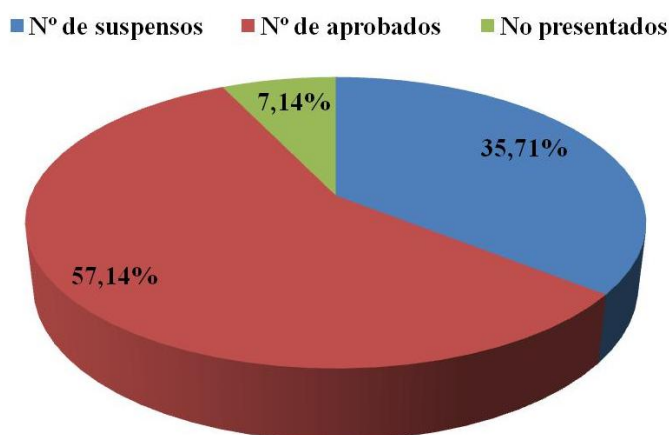
- Clase de teoría en el aula.
  - Continuación con la explicación de teoría de extracción líquido-líquido.
  - Resolución de problemas
- Prácticas de laboratorio de Extracción líquida en el Laboratorio de Química Industrial.
- Sesión de resolución de dudas generales en el aula de teoría.

El desarrollo completo de las actividades viene reflejado en los Anexos. En el caso de mi práctica de laboratorio, ésta no dio tiempo a acabarla, de manera que la segunda parte se hizo la semana después del final de *Prácticum* a la que yo asistí para supervisar la misma. El examen final de la UT de Extracción también se hizo esa misma semana.

En lo que respecta a las actividades, una de las principales dificultades que he encontrado ha sido la adecuación de los contenidos de extracción líquido-líquido al nivel de los alumnos del grado superior de Química Industrial. También una de las cuestiones que no he tenido en cuenta en la planificación de las mismas ha sido la atención a la diversidad, ya que considero que habría sido adecuado estudiar más en profundidad los resultados obtenidos a partir de la prueba inicial de conocimientos previos de cara a plantear actividades con sus correspondientes materiales para aquellos alumnos que más dificultades presentan. Pienso además que la principal causa ha sido la falta de tiempo y la cantidad de contenidos que constituyen la UT de Extracción. Sin embargo, a pesar de no haber tenido en cuenta la atención a la diversidad y de no haber tenido tiempo suficiente para explicar todos los contenidos de extracción líquida, mis explicaciones teóricas tuvieron un claro enfoque hacia las sesiones prácticas de laboratorio e hice uso de recursos visuales en la presentación del tema de extracción líquida en formato PowerPoint (imágenes con animaciones, vídeos, uso de colores,...).

En lo que respecta a la prueba de evaluación, ésta se hizo de forma conjunta con mi parte de extracción líquido-líquido y la de mi compañero de extracción sólido-líquido. Al principio tuve algunas dificultades a la hora de establecer los criterios de calificación y las puntuaciones de los ejercicios. Por ello, tomando como punto de partida los criterios de evaluación de la UT de Extracción, mi experiencia como alumno y las indicaciones de mi tutora, decidí tener en cuenta diversos aspectos tales como el planteamiento, la resolución numérica, el grado de razonamiento,...

En cuanto a los resultados del examen, en general fueron buenos ya que aprobaron más de la mitad en lo que respecta a mi parte (Ver Figura 16), siendo la nota media del grupo de 5,72. No obstante, sí que he podido observar en las correcciones las dificultades que los alumnos presentan para el cálculo y de cara a razonar cuestiones basadas en la práctica realizada. Por ello, considero que debería haber hecho más hincapié en la resolución de problemas y haber enfocado más las prácticas al planteamiento de las cuestiones de examen. Aquí también podría haber influido mucho la limitación del tiempo y el exceso de contenidos de la temática de Extracción.



**Figura 16.-** Resultados de la prueba de evaluación (parte de extracción líquida) (**Fuente:** Elaboración propia).

En las prácticas de laboratorio, una de las principales dificultades que he observado es que los alumnos no suelen leerse previamente los guiones, de manera que hay que profundizar en la explicación de las prácticas, invirtiendo mucho tiempo en ello. Además, también hay algunos alumnos que tienen algunas dificultades de cara al manejo de equipos y en el análisis e interpretación de resultados, como he podido observar en los informes de la práctica que han tenido que realizar y que he corregido a posteriori. De nuevo, también podría haber influido el factor tiempo, ya que se podría haber adoptado alguna medida para aquellos alumnos que presentan algunas dificultades en el manejo de equipos e instrumentos del laboratorio. Por otra parte, también podría haberse dado algo de flexibilidad en la formación de grupos, ya que en las encuestas algunos alumnos reivindicaban este tipo de medidas.

### **Reflexión crítica de la relación del trabajo con las competencias del TFM:**

Con respecto a la competencia nº1:

*“Integrarse en la profesión docente, comprendiendo su marco legal e institucional, su situación y retos en la sociedad actual y los contextos sociales y familiares que rodean y condicionan el desempeño docente, e integrarse y participar en la organización de los centros educativos y contribuir a sus proyectos y actividades.”*

En este caso, este trabajo cubriría esta competencia ya que antes del diseño de actividades y materiales es necesario conocer previamente el contexto educativo (centro, título, módulo profesional), así como las características del grupo-clase al que va destinado.

Con respecto a la competencia nº4:

*“Establecer puntos de conexión y relación entre las diferentes planificaciones, diseños, desarrollo de actividades de aprendizaje y de evaluación en las especialidades y materias de su competencia.”*

En este caso, esta sería la principal competencia del TFM que cubre el diseño de actividades y materiales.

Con respecto a la competencia nº5:

*“Evaluar, innovar e investigar sobre los propios procesos de enseñanza en el objetivo de la mejora continua de su desempeño docente y de la tarea educativa del centro.”*

En este caso, esta competencia también podría estar presente ya que elaboración de los materiales introduciendo contenidos más actualizados con acompañamiento de recursos audiovisuales (vídeos de internet) supone una cierta innovación. También, la realización de este trabajo en el *Prácticum* ha supuesto una evaluación posterior de mi actividad como docente de cara a introducir mejoras para el futuro.

### **Relación con los otros trabajos:**

La realización de estas actividades constituyen un punto de partida de cara al planteamiento del *proyecto de innovación* ya que está basado en la implantación de un software que permitiría al alumnado resolver de forma una rápida y precisa los casos prácticos que tiene lugar en la extracción líquido-líquido, permitiendo la comparación de los resultados con las resoluciones hechas sin uso del software.

### 5.3. Proyecto de Innovación

El Proyecto de Innovación se titula “*Aplicación de Aspen HYSYS en Extracción Líquido-Líquido*” y se va a desarrollar dentro del Departamento de Formación Integrada de la familia profesional Química en el Ciclo Formativo de Grado Superior de Química Industrial, de 2000 horas de duración, del plan LOE y en horario diurno. A su vez, el proyecto se ubicaría en el módulo profesional de *Operaciones básicas en la industria química* que es donde se imparte la temática de extracción líquido-líquido dentro de la UT de *Extracción*, que se corresponde con la que yo impartí durante el período del *Prácticum II-III*.

#### **Presentación del problema:**

En los últimos años, los profesores del Departamento de Química del CPIFP “CORONA DE ARAGÓN” que imparten el módulo profesional de *Operaciones básicas en la industria química* en el primer curso del grado superior de Química Industrial, se han interesado por la implantación de una herramienta informática que permita la simulación de procesos químicos de extracción, y de forma concreta, aquellos procesos asociados a la extracción líquido-líquido o extracción con disolventes. Además, este mismo software debe favorecer la resolución de una forma rápida y precisa de los casos prácticos planteados en la extracción líquido-líquido, además de poder permitir a los alumnos/as verificar los resultados obtenidos del software con los obtenidos de forma manual a través de cálculos de balances de materia y con uso de gráficos, diagramas,... Por ello, el Departamento de Química quiere apostar por la implantación del software *Aspen HYSYS* dentro del módulo profesional antes mencionado, que es una herramienta informática muy utilizada a nivel industrial y de uso docente en algunos centros universitarios, que permite diseñar o modelar procesos químicos, además de estimar propiedades físicas, balances de materia y energía, equilibrios líquido-vapor, así como la simulación de muchos equipos e instalaciones dentro del campo de Ingeniería Química.

Durante mi período de formación como ingeniero químico en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (antiguo Centro Politécnico Superior) en Zaragoza, tuve la oportunidad de familiarizarme con el manejo de este software informático para el diseño y simulación de procesos químicos a nivel industrial para una gran variedad de equipos (columnas de destilación, compresores,...).

#### **Justificación del proyecto:**

Si hablamos de una justificación desde un punto de vista didáctico, tanto en mi opinión como la de los profesores del módulo profesional, coincidimos en que la implantación de esta herramienta informática permitiría al alumnado resolver de forma una rápida y precisa los casos prácticos que tienen lugar en la extracción líquido-líquido, permitiendo la comparación de los resultados con las resoluciones hechas sin uso del software. Además, la introducción de este software fortalece y amplía la formación tanto del profesorado como del alumnado en el manejo de las TIC, adaptando dicha formación a los procesos químicos reales que tienen lugar en un contexto laboral e industrial.

Se ha demostrado que el uso de las TIC ofrece una serie de posibilidades en el ámbito educativo como podrían ser las siguientes (Almenara, 2007):

- Ampliación de la oferta informativa.
- Creación de entornos más flexibles para el aprendizaje.
- Eliminación de las barreras espacio-temporales entre el profesor y los estudiantes.
- Incremento de las modalidades comunicativas.
- Potenciación de los escenarios y entornos interactivos.

- Favorecer tanto el aprendizaje independiente y el autoaprendizaje como el colaborativo y en grupo.
- Romper los clásicos escenarios formativos, limitados a las instituciones escolares.
- Ofrecer nuevas posibilidades para la orientación y la tutorización de los estudiantes.
- Facilitar una formación permanente.

Como en este caso nos basamos en el uso de un software que permite la simulación de procesos químicos a nivel industrial, se ha demostrado que el uso de simuladores para el ámbito educativo presenta una serie de mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje tales como las siguientes (Contreras y Carreño, 2012):

- Permiten una participación activa del estudiante en el proceso de aprendizaje frente a las clases magistrales.
- Eliminan riesgos que se presentan en la interacción con la realidad tanto para los estudiantes como para los dispositivos, lo que permite centrarse en el aspecto de la realidad que se va a estudiar.
- Producen retroalimentación rápida debido a los resultados inmediatos ocasionados por los cambios introducidos en ciertos parámetros de la simulación. Esto permite corregir o confirmar la acción del estudiante.
- Poseen un componente lúdico que permite mantener el interés de los estudiantes.
- Involucran al estudiante en su aprendizaje, ya que es él el que tendrá que manejar el simulador, observar los resultados y actuar en consecuencia.
- Los simuladores pueden resolver la carencia de experiencia en el fenómeno de estudio que las teorías científicas buscan explicar.
- Pueden utilizarse en el diseño de actividades que promueven un acercamiento social del aprendizaje.

A pesar de las diferencias existentes entre las enseñanzas universitarias y la Formación Profesional en lo que respecta a contenidos, metodologías de enseñanza, etc., si que ha habido estudios que se han hecho a nivel universitario que han demostrado que la utilización de este software permite al alumnado una mejora en la comprensión de los contenidos teóricos, así como una mejora del análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Cuevas-Aranda, Fernández-Valdivia, Parra-Ruíz y Navarro-Nieto (2014) llevaron a cabo un Proyecto de Innovación Docente en la Universidad de Jaén, en el que se hizo uso del programa *Aspen HYSYS* en cinco sesiones de laboratorio relacionadas con tres operaciones unitarias del área de Ingeniería Química: extracción líquido-líquido, destilación e intercambio de calor. Al final de las prácticas, se hizo una encuesta a un total de 20 estudiantes de dos cursos académicos (2010-11 en la titulación de I.T.I Química Industrial, y 2012-13 en el grado de Ingeniería Química Industrial) donde se ha llevado a cabo este proyecto, de forma que se obtuvieron los siguientes resultados:

- El 60% en ambos cursos considera haber mejorado el entendimiento de los conocimientos teóricos.
- El 66,7% (curso 2010-11) y el 100% (curso 2012-13) considera haber reforzado los conocimientos de procedimientos operativos.
- El 86,7% (curso 2010-11) y el 80% (curso 2012-13) considera que *Aspen HYSYS* ha ayudado en el análisis e interpretación de resultados experimentales.

Por último, habría que destacar que como valor añadido a este proyecto de innovación, el software *Aspen HYSYS* podría también aplicarse para la resolución de casos prácticos de los distintos contenidos teóricos de las otras UT del mismo módulo profesional, como podrían ser



la destilación y evaporación, la absorción y la adsorción entre otras. Por otra parte, si nos basamos en los contenidos teóricos, *Aspen HYSYS* también podría aplicarse para la resolución de casos prácticos de otros módulos profesionales del mismo título como Transporte de sólidos y fluidos, Generación y recuperación de energía o Reactores químicos entre otros.

### **Análisis reflexivo de la metodología empleada:**

De las distintas metodologías de aprendizaje, el uso del programa *Aspen HYSYS* para la resolución de casos prácticos de extracción líquido-líquido, presentaría una metodología en la que se combina el *aprendizaje significativo* de David Ausubel y el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP en adelante). Ambos tipos de aprendizaje ya me los habían explicado previamente en la teoría de algunas asignaturas como *Procesos de enseñanza-aprendizaje y Diseño, organización y desarrollo de actividades para el aprendizaje* entre otras. El *aprendizaje significativo* consiste en relacionar los conocimientos previos con los de nueva adquisición, mientras que el ABP presenta varias definiciones según los autores. El ABP podrá definirse como una metodología centrada en el aprendizaje, en la investigación y reflexión que siguen los alumnos para llegar a una solución ante un problema planteado por el profesor (Universidad Politécnica de Madrid, 2008). Algunos autores como Barrows (1986) lo define como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”.

Si nos centramos en la resolución de casos prácticos con *Aspen HYSYS* por parte de los alumnos, éstos parten de unos conocimientos teóricos previos de extracción líquida y de haber resuelto los problemas a mano, de manera que con ayuda del software, se adquieren unas determinadas habilidades y destrezas que permiten la resolución del problema de una forma rápida y precisa, así como la comparación de los resultados con los que se han obtenido de forma manual.

Se ha demostrado para la rama de química que la metodología ABP produce ciertas mejoras en la motivación y la habilidad para la resolución de problemas. Ferreira y Trudel (2012) realizaron un estudio del ABP con 48 estudiantes de secundaria dentro de la materia de química. A raíz de los resultados, se observó un aumento significativo en las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia, las habilidades de resolución de problemas y unos puntos de vista positivos del entorno de aprendizaje. El uso de ABP también facilitó el desarrollo de un sentido de comunidad en el aula. Otros autores como Tosun y Senocak (2013) realizaron un estudio muy parecido en estudiantes universitarios, en el que demostraron que el ABP hace que los estudiantes incrementen su motivación hacia la materia y hacia el propio aprendizaje. Por otra parte, algunos autores como De Miguel Díaz (2005) afirman que el ABP ayuda al alumno desarrollar y trabajar diversas competencias tales como resolución de problemas, toma de decisiones, trabajo en equipo, habilidades comunicativas y desarrollo de actitudes y valores.

### **Objetivos del proyecto:**

El objetivo general es aplicar el software *Aspen HYSYS* en la resolución de casos prácticos de Extracción Líquido-Líquido para mejorar la rapidez y precisión en la resolución de los mismos y la competencia digital del alumnado.

A su vez, se puede desglosar en los siguientes objetivos específicos:

1. Aprender el manejo del software *Aspen HYSYS*, formando previamente al alumnado para la resolución de casos prácticos de extracción Líquido-Líquido.
2. Poner en práctica los conocimientos y destrezas del alumnado en el manejo de *Aspen HYSYS*, resolviendo casos prácticos para determinar el grado de adquisición de los mismos.

## Actividades:

Las actividades que se han planteado con el software *Aspen HYSYS* para el logro de los objetivos específicos son las siguientes:

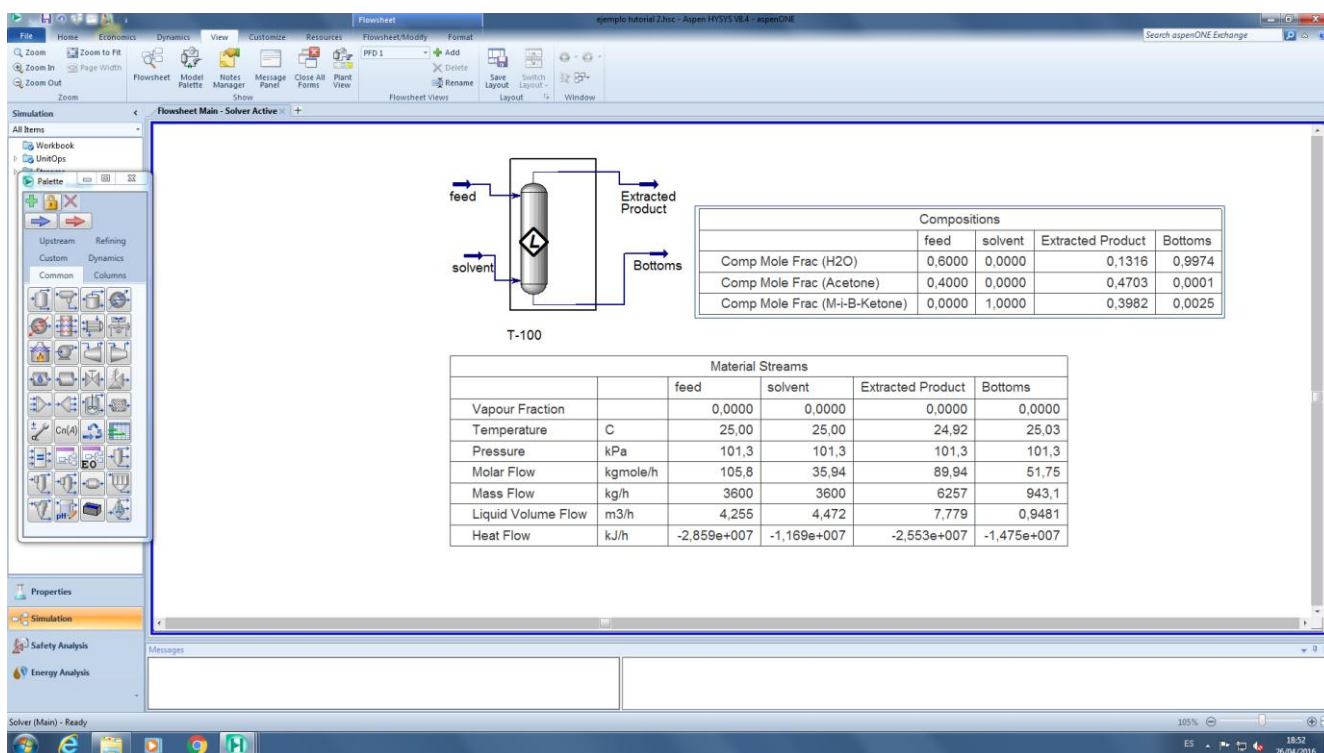
- **A1. Introducción al manejo de *Aspen HYSYS* para extracción líquido-líquido.**
- **A2. Práctica de extracción líquido-líquido con *Aspen HYSYS*.**

El desarrollo completo de las dos actividades puede consultarse en los Anexos. Por otra parte, para llevar a cabo estas actividades, se han desarrollado los siguientes materiales:

- Guión del caso práctico de la actividad A1 (Ejemplar del profesor y del alumno).
- Guión del caso práctico de la actividad A2 (Ejemplar del profesor y del alumno).
- Vídeos tutoriales de los casos prácticos resueltos de ambas actividades.

Los guiones pueden consultarse en los Anexos y los vídeos tutoriales pueden visualizarse en Youtube<sup>7</sup>.

En la elaboración de los vídeos tutoriales he tenido la oportunidad de familiarizarme con el manejo del programa *Camtasia Studios 8*, que permiten la grabación de vídeos online, así como capturar en forma de vídeo cualquier cosa que aparezca en la pantalla del ordenador como es la realización de un caso práctico con *Aspen HYSYS* (Ver Figura 17).



**Figura 17.** Realización de un caso práctico de extracción líquido-líquido con *Aspen HYSYS* (Fuente: Elaboración propia).

<sup>7</sup> Los vídeos tutoriales pueden verse en los siguientes enlaces:

Caso práctico de la actividad A1: <https://www.youtube.com/watch?v=gj-1KR-1NHQ>

Caso práctico de la actividad A2: <https://www.youtube.com/watch?v=6ei8gP9091U>

Además, algunos estudios han demostrado que el uso de vídeos tutoriales ofrece algunas ventajas al estudiante como la mejora del aprendizaje, el incremento de la retención de contenidos y de la motivación y del gusto por aprender. También ofrece otras ventajas como la reducción del tiempo de aprendizaje o el incremento de la consistencia pedagógica (Castillo y Marín Carrillo, 2012). La elaboración de los vídeos tutoriales pretende facilitar el acceso de estudiantes a la información sobre todo tipo material y es una oportunidad de elevar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje y desarrollar las competencias de los estudiantes, permitiéndole realizar consultas sobre las dudas que tenga desde la comodidad de su casa, seguir paso a paso la solución de una situación problema, haciendo al estudiante el actor principal, así como también propiciar una práctica docente reflexiva, significativa y situacional, logrando de esta manera un cambio en los modelos de enseñanza y evaluación (Saucedo Fernández, Díaz Perera, Herrera Sánchez y Recio Urdaneta, 2013).

Por último, como ya se ha comentado en la justificación del proyecto, estas actividades con el programa informático *Aspen HYSYS* también podrían realizarse para la resolución de casos prácticos de otras unidades de trabajo del mismo módulo profesional como destilación, absorción,... así como otros módulos profesionales del mismo título profesional.

### **Evaluación:**

Para evaluar el proyecto de innovación se van a utilizar los siguientes indicadores de evaluación:

- Los **indicadores de evaluación del proceso** en función de los objetivos específicos.
- Los **indicadores de evaluación del resultado** en función del objetivo general

Los indicadores de evaluación del proceso se han planteado para cada objetivo específico con los resultados esperados, las actividades, indicadores y fuentes de verificación correspondientes (Ver las Tablas en los Anexos).

Los indicadores de evaluación de los resultados se plantean de dos formas:

- Encuestas de satisfacción del alumnado tras la realización del proyecto (Ver Anexos).
- Comparativa de los resultados antes y después de implantar el software en los siguientes aspectos:
  - Nº de casos prácticos bien resueltos antes/después del software.
  - Tipos de fallos más comunes antes/después de la implantación del software.
  - Nota media de los casos prácticos antes/después del software.

### **Reflexión crítica de la relación del trabajo con las competencias del TFM:**

Con respecto a la competencia nº1:

*“Integrarse en la profesión docente, comprendiendo su marco legal e institucional, su situación y retos en la sociedad actual y los contextos sociales y familiares que rodean y condicionan el desempeño docente, e integrarse y participar en la organización de los centros educativos y contribuir a sus proyectos y actividades.”*

En este caso, este trabajo cubriría esta competencia ya que para la implantación del proyecto y todo lo que conlleva, es necesario conocer previamente el contexto educativo (centro, título, módulo profesional), así como las características del grupo-clase al que va destinado.

Con respecto a la competencia nº4:

*“Establecer puntos de conexión y relación entre las diferentes planificaciones, diseños, desarrollo de actividades de aprendizaje y de evaluación en las especialidades y materias de su competencia.”*

En este caso, el proyecto lleva consigo el diseño de unas actividades y materiales que consisten en la resolución de casos prácticos de extracción líquido-líquido con el software *Aspen HYSYS*.

Con respecto a la competencia nº5:

*“Evaluar, innovar e investigar sobre los propios procesos de enseñanza en el objetivo de la mejora continua de su desempeño docente y de la tarea educativa del centro.”*

En este caso, esta sería la principal competencia que presenta este trabajo ya que supone una innovación en los procesos de enseñanza-aprendizaje el uso de un software para resolver de forma rápida y precisa casos prácticos de extracción líquida.

## 6. Conclusiones

Este trabajo de fin de máster me ha servido para demostrar los conocimientos adquiridos tanto en las distintas asignaturas como en el período de *Prácticum*, al que yo considero como la piedra angular para la primera toma de contacto con la realidad de la profesión docente. Todos estos conocimientos han de derivar en la adquisición de las competencias establecidas para el TFM. En mi caso, y como ya he mencionado antes, los 3 trabajos que he utilizado para justificar la adquisición de competencias del TFM han sido el *Análisis del grupo-clase y estudio comparativo*, el *diseño de actividades y materiales del Prácticum* y el *proyecto de innovación*. Ambos están estrechamente vinculados entre sí y asociados a las tres competencias del TFM.

En lo que respecta a las asignaturas del máster, en el caso de las genéricas como *Contexto de la actividad docente*, *Interacción y convivencia en el aula*, *Procesos de enseñanza y aprendizaje*, te proporcionan las nociones básicas en lo que respecta al marco legislativo, organizativo, así como las metodologías de enseñanza-aprendizaje y los aspectos de psicología evolutiva y social que un docente debe tener en cuenta en el desempeño de su labor a tiempo real. Por otra parte, el contexto educativo y legislativo me ha servido como base para desarrollar los diseños de actividades, programaciones, unidades de trabajos, así como otros trabajos como los de *Entorno productivo* y el proyecto de innovación para el *Prácticum* y la asignatura de *Evaluación e Innovación Docente*.

Además, me gustaría destacar el haber tenido el honor de realizar el *Prácticum* para la familia profesional de Química en el Centro Público Integrado de Formación Profesional “CORONA DE ARAGÓN” ya que me ha permitido conocer el funcionamiento de un centro integrado de FP, que dista mucho de un Instituto de Educación Secundaria o de cualquier otro centro de secundaria privado-concertado. En este tipo de centros se imparten tanto la FP reglada (grado medio y superior) como la no reglada (FP permanente y ocupacional). Aunque la programación didáctica y la unidad de trabajo las hice para un grado superior de la familia profesional de Industrias Alimentarias como es el caso del título de Técnico Superior en Vitivinicultura, la cosa se vio compensada con la realización del *Prácticum II-III* ya que me tocó realizar el diseño de actividades y el proyecto de innovación para la familia de Química. En general, durante el segundo cuatrimestre con las asignaturas de la especialidad de Procesos Químicos se trabajaron conjuntamente las tres asignaturas de *diseño de actividades*, *entorno*

*productivo y evaluación e innovación*, dando un sólido enfoque al terreno de la formación profesional, que en los últimos años ha experimentado un fuerte crecimiento ya que son unas enseñanzas que destacan por su sólida formación práctica y su fuerte vínculo al mundo laboral. Gracias a la especialidad que he cursado en el presente máster he ampliado mis conocimientos acerca de las competencias y cualificaciones profesionales dentro de la formación profesional, así como la relación entre los distintos niveles de concreción curricular de nuestro actual sistema educativo.

Desde el punto de vista académico, el máster tiene una gran carga de información, dada la diversidad de asignaturas, profesores y multitud de trabajos que me ha tocado realizar durante todo el curso, junto con el trabajo que ha supuesto la elaboración de los materiales para el *Prácticum*. Sin embargo, lo que me ha resultado más gratificante ha sido el poder diseñar unos materiales y actividades para luego impartirlos a un determinado grupo de alumnos como ha sido el caso del primer curso del grado superior de Química Industrial. También, me ha resultado útil realizar un análisis del grupo-clase que permite mejorar la labor de un docente y hacerse una idea de las características del grupo-clase. Así como poder colaborar en la elaboración de un proyecto de innovación para el centro que aunque en mi caso no se ha implantado todavía, si que se hará en los años venideros.

Otro de los aspectos tratados en este máster que yo considero muy importante dentro de la profesión docente, es la elaboración de programaciones didácticas y unidades de trabajo o unidades didácticas que se realizan a partir del currículum oficial de cada título, donde se incluyen objetivos de aprendizaje, resultados de aprendizaje, criterios de evaluación, contenidos, las actividades de enseñanza-aprendizaje, la metodología y sistemas de evaluación tanto del alumnado como del docente, ya que la evaluación de la actividad docente es clave para la mejora continua. En el caso de FP, a diferencia de otras enseñanzas, al haber un claro enfoque hacia el mundo laboral y empresarial, es fundamental conocer el entorno productivo para cada uno de los títulos profesionales.

Finalmente, hay que destacar que en la elaboración de un proyecto de innovación hay que definir correctamente los objetivos, las actividades y los indicadores de evaluación tanto del proceso como del resultado, de cara a obtener éxito en la realización del mismo. En el caso de mi proyecto de innovación, la implantación de un software como *Aspen HYSYS* permitiría al alumnado resolver casos prácticos de forma rápida y precisa, además de mejorar la competencia digital adecuando la formación a los procesos que tienen lugar en la industria a tiempo real.

## **7. Propuestas de futuro**

En la presentación inicial, he comentado que en los últimos años he ido madurando la idea de dedicarme a la docencia, pero por supuesto sin descartar otras opciones dentro de mi titulación de Ingeniería Química. Por ello, he visto tras realizar este máster, que después de unos años de constante indecisión y de búsqueda de mi verdadero camino, pienso que la docencia es la profesión que más se adecua a mis intereses personales y profesionales.

Como ya he podido observar durante este máster, especialmente durante mi período de *Prácticum*, la profesión docente tiene que adaptarse a una sociedad de continuos cambios y transformaciones. Es por ello, que apostaré por la formación permanente ya que un profesor tiene que estar bien preparado para todos aquellos escenarios que pueden presentarse en los años venideros. En mi caso, la formación permanente abarcaría los siguientes campos aunque sin descartar otras posibilidades:

- Formación en cuestiones de pedagogía y psicología social (prevención y resolución de conflictos, habilidades comunicativas, inteligencia emocional,...). Por ello estaré atento a todas aquellas ofertas de los CIFPA y del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) entre otros.
- Ampliación y mejora de la formación en idiomas, sobre todo en lo que respecta a la expresión oral en inglés y en francés. También barajo la posibilidad de retomar para el curso 2016-2017 el alemán que ya había iniciado en primero de Básico en la Escuela Oficial de Idiomas en el curso 2014-2015.
- Formación en materias propias de mi especialidad como en medio ambiente, calibración de equipos, ensayos físico-químicos, proyectos,... a través de cursos de formación ocupacional como los que se llevan a cabo en Zaragoza Dinámica u otras entidades.
- Mejora en el manejo de las TIC: uso de bases de datos, Prezi, vídeos tutoriales,... Dentro de este campo, también se podría incluir la formación de las TIC con un claro enfoque hacia la docencia (mejora de presentaciones, modalidad de enseñanzas online, pizarras digitales,...).

En lo que respecta a la profesión docente, una de mis metas a corto-medio plazo va a ser aspirar a la función pública docente a través de la preparación de oposiciones durante estos próximos meses de cara a los exámenes que previsiblemente podrían ser convocados en la Comunidad Autónoma de Aragón en junio de 2017. Por otra parte, si en caso de no superar las oposiciones en mi comunidad autónoma o de no ser convocadas para 2017, optaré por hacer lo que ya se conoce como “turismo de oposición”, es decir, que optaré por presentarme en otras autonomías. En principio, estoy abierto a todas las posibilidades, tanto en ESO y Bachillerato como en FP y Educación en Adultos. En este caso, si no obtuviese plaza, intentaría entrar como interino para ganar experiencia y salir reforzado para oportunidades futuras.

Ahora bien, debido a que no tengo demasiada experiencia profesional a nivel docente, ya que mi experiencia se limita a clases particulares y de forma esporádica en academias, sí que me estoy planteando la idea de ejercer como docente en centros concertados o privados. También optaré por algún tipo de contratación fija o temporal en alguna academia o centro de estudios. Desde finales de este mes de febrero, con un pequeño parón durante el *Prácticum*, empecé como voluntario de apoyo escolar en materias de ciencias en el Centro Sociolaboral Delicias gestionado por la Fundación Adunare, que se ocupa de la educación externa, una de las medidas de atención a la diversidad de reciente creación y que a día de hoy son algo desconocidas dentro de la comunidad educativa. Este centro está ubicado como ya he comentado en el barrio de Delicias y tiene como finalidad el desarrollo integral de la persona, apoyando el proceso de transición a la vida adulta y activa de los jóvenes con dificultades de inserción y en riesgo de exclusión social, de manera que se combina un itinerario de inserción social y laboral. En mi caso, ejerzo como voluntario dentro del módulo de Formación Ocupacional con alumnos entre 16 y 25 años en la parte de materias comunes (matemáticas y ciencias naturales) dentro de la especialidad de serigrafía. El principal motivo que me llevo a optar por este tipo de actividades, fue el deseo de ampliar mis conocimientos acerca de la educación en este país y de fortalecer mi experiencia como docente en lo que respecta a la impartición de clases. También contribuir a nuevos proyectos educativos en el propio centro ya que la innovación es el pan de cada día en esta profesión.

Por último, mi tutor de *Prácticum* y director de este Trabajo Fin de Máster, nos comentó un día en clase la posibilidad de trabajar como docente en el extranjero, ya que nuestro país tiene algunos convenios a través del Ministerio de Educación con otras naciones como es el caso de Estados Unidos o Ecuador en lo que respecta al reclutamiento de profesores españoles para sus

centro educativos. Pienso que también sería una posibilidad más a valorar ya que a día de hoy no tengo ningún tipo de atadura a mi país (cargas familiares,...) y además podría ser una gran experiencia vital tanto a nivel profesional como personal ya que entraría en contacto con otras culturas.

## 8. Bibliografía

- Almenara, J.C. (2007). *Las TICs en la enseñanza de la química: aportaciones desde la Tecnología Educativa*. Recuperado el 12 de junio de 2016 de: <http://tecnologiaedu.us.es/cuestionario/bibliovir/jca16.pdf>
- Ariza, M.R. y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), pp. 101-115.
- Barrows, H.S. (1986). A Taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20/6, 481-486.
- Bernal Agudo, J. L., Cano Escoriaza, J. y Lorenzo Lacruz, J. (2014). *Organización de los centros educativos. LOMCE y políticas neoliberales* (1ª ed.). Zaragoza: MIRA EDITORES S.A.
- Blog de “Comprensión lectora basada en evidencias” (29 de enero 2013). *El cono de Edgar Dale ¿dejamos de leer?* [Imagen]. Recuperado el 13 de junio de 2016 de: <https://clbe.wordpress.com/2013/01/29/el-cono-de-edgar-dale-dejamos-de-leer/>
- Cardoso Moreno, E.R. (2009). Experiencias de bachillerato a distancia. Importancia de conocer a nuestros alumnos del bachillerato para su seguimiento. *Revista Mexicana del Bachillerato a Distancia*, 1(1), 1-3.
- Castillo, D.J. y Marín Carrillo, G.M. (2012). Asimilación de contenidos y aprendizaje mediante el uso de videotutoriales. *Enseñanza & Teaching*, 30(2), 63-79.
- Ciberaula (2015). *Blended learning y su implantación en la empresa*. Recuperado el 11 de junio de 2016 de: <http://elearning.ciberaula.com/articulo/blearning/>
- Coll, C. (1986). <<Los niveles de concreción del diseño del curriculum>>. *Cuadernos de Pedagogía*, 139, pp. 24-30.
- Contreras, G.A. y Carreño, P. (2012). Simuladores en el ámbito educativo. Un recurso didáctico para la enseñanza *Ingenium*. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, nº 25, 107-119.
- Cuevas-Aranda, M., Fernández-Valdivia, Diego G., Parra-Ruíz, M. Luisa. y Navarro-Nieto, S. (2014). Uso de simulaciones por ordenador para mejorar la enseñanza en el laboratorio de ingeniería química. *MODELLING IN SCIENCE EDUCATION AND LEARNING*. Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada, vol. (7), 93-102. doi: 10.4995/msel.2014.2122.
- Delors, Jacques (1994). “Los cuatro pilares de la educación”. *La Educación encierra un tesoro*. México: El Correo de la UNESCO, pp. 91-103.
- De Miguel Díaz, M. (2005). *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el Espacio Europeo de Educación Superior*. Universidad de Oviedo. Recuperado el 12 de junio de 2016 de: [http://www.uvic.es/sites/default/files/Ensenanza\\_para\\_competencias.PDF](http://www.uvic.es/sites/default/files/Ensenanza_para_competencias.PDF)
- Del Valle, S. y García, Mª. J. (2007). *Cómo programar en Educación Física paso a paso*. Barcelona: Inde.
- Del Valle, S.; Díaz, R. y Velázquez, R. (2003). *Guía Didáctica de Educación Física*. Madrid, Almadraba.

- Fernández Martínez, M., García Sánchez, J.N., Fuertes, A.C., Fidalgo Redondo, R. y Arias Gundín, O. (2006). El aprendizaje basado en problemas: revisión de estudios empíricos internacionales. *Revista de educación*, N° 341, 397-418.
- Ferreira, M. M., & Trudel, A. R. (2012). The Impact of Problem Based Learning (PBL) on Student Attitudes toward Science, Problem-Solving Skills, and Sense of Community in the Classroom. *Journal of Classroom Interaction*, 47(1), 23-30.
- IMF Business School (2016). *10 ventajas del e-learning*. Recuperado el 11 de junio de 2016 de: <http://www.imf-formacion.com/blog/corporativo/educacion-imf/10-ventajas-del-e-learning/>
- Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (Ley 8/2013, de 9 de diciembre). *Boletín Oficial del Estado*, n° 295, 10 de diciembre de 2013, pp. 97858-97921.
- Ley Orgánica de Educación (Ley 2/2006, de 3 de mayo). *Boletín Oficial del Estado*, n° 106, 4 de mayo de 2006, pp. 17158-17207.
- Ley Orgánica de las Cualificaciones y de la Formación Profesional (Ley 5/2002, 19 de junio). *Boletín Oficial del Estado*, n° 147, 20 de junio de 2002, pp. 22437-22442.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD). Gobierno de España (2016). *La Formación Profesional actual en el sistema educativo*. Recuperado el 9 de junio de 2016 de: <http://www.todofp.es/todofp/sobre-fp/informacion-general/sistema-educativo-fp/fp-actual.html>
- Montoro Cabrera, María del Carmen (2009). El aprendizaje cooperativo. Un instrumento de transformación para la mejora de la calidad de la enseñanza. *Caleidoscopio, revista de contenidos educativos del CEP de Jaén*, n° 2, pp. 67-76.
- Morral, A., Bou, T., Cabot, A., Capitán, A., Díaz, J., Fatjó, J., Macaya, J.L., Montmany, A. y Romero, D. (2002). Aprendizaje basado en problemas. *Revista de fisioterapia*, 1, 26-35.
- Palomar Sánchez, Mª José. (2010). “*La importancia de la programación didáctica en el proceso de enseñanza aprendizaje en la Educación Secundaria Obligatoria*”. Recuperado el 5 de junio de 2016 de: [http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod\\_ense/revista/pdf/Numero\\_29/MARIA\\_JOSE\\_PALOMAR\\_SANCHEZ\\_02.pdf](http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_29/MARIA_JOSE_PALOMAR_SANCHEZ_02.pdf)
- Pérez Gómez, A.I. (1986). <<Más sobre la formación del profesorado>>. *Cuadernos de Pedagogía*, 139, pp. 92-94.
- Pujolás Maset, P. (2008). *9 ideas clave: El Aprendizaje Cooperativo*. Barcelona: GRAO
- Rodríguez Torres, Javier (2010). De las programaciones didácticas a la unidad didáctica: incorporación de competencias básicas y concreción de tareas. *Revista Docencia e Investigación*, n° 20, pp. 245-270
- Sánchez Caballero, D. (7 de febrero de 2015). Solo un 1% de los alumnos estudian FP Dual, la gran apuesta del Gobierno contra el paro juvenil. *Eldiario.es Periodismo a pesar de todo*. Recuperado el 5 de junio de 2016 de: [http://www.eldiario.es/sociedad/FP-Dual-despliega-atrae-jovenes\\_0\\_353465499.html](http://www.eldiario.es/sociedad/FP-Dual-despliega-atrae-jovenes_0_353465499.html)
- Saucedo Fernández, M., Díaz Perera, J.J., Herrera Sánchez, S.C. y Recio Urdaneta, C.E. (2013). *El vídeo tutorial como alternativa didáctica en el área de matemáticas*. Recuperado el 15 de junio de 2016 de: <http://funes.uniandes.edu.co/4582/1/SaucedoElvideoALME2013.pdf>
- Subdirección General de Orientación y Formación Profesional (SGOFP) (2014). *Formación Profesional Dual. Seguimiento de Proyectos Formación Profesional Dual: Curso 2013-2014*. Recuperado el 12 de junio de 2016 de: <http://www.mecd.gob.es/prensa-mecd/dms/mecd/prensa-mecd/actualidad/2014/01/20140113-fpdual-bankia/informe-seguimiento-fpdual.pdf>



- Teevan, C.J., Li, M. y Schlesselman, L.S. (2011). Index of Learning Styles in a U.S. School of Pharmacy. *Pharmacy Practice*, 9(2), 82-87.
- Tosun, C., & Senocak, E. (2013). The Effects of Problem-Based Learning on Metacognitive Awareness and Attitudes toward Chemistry of Prospective Teachers with Different Academic Backgrounds. *Australian Journal Of Teacher Education*, 38(3), 60-73.
- Universidad Politécnica de Madrid. Servicio de Innovación Educativa (2008). *Aprendizaje Cooperativo. Guías rápidas sobre nuevas metodologías*. Recuperado el 11 de junio de 2016 de: [http://innovacioneducativa.upm.es/guias/Aprendizaje\\_coop.pdf](http://innovacioneducativa.upm.es/guias/Aprendizaje_coop.pdf)

## 9. Anexos

### **Anexo I: Prueba de conocimientos previos:**

#### **-CUESTIONARIO INICIAL DE CONOCIMIENTOS PREVIOS-**

Apellidos:

Nombre:

Módulo:

Fecha:

- 1) **¿Cuándo se produce un equilibrio químico?**
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 2) **¿Qué es la constante de equilibrio y qué información nos aporta?**
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 3) **¿De qué depende la constante de equilibrio?**
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4) **¿Qué se entiende por solubilidad? ¿De qué factores depende en el caso de los líquidos?**
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 5) **¿Qué significa que dos líquidos son miscibles? ¿E inmiscibles? Pon un ejemplo para ambos casos.**

## Anexo II: Documento de teoría de extracción líquido-líquido:

### 1. Introducción

Como ya se ha comentado al principio de la Unidad Didáctica, en todas las operaciones básicas que se utilizan para separar componentes en mezclas homogéneas, se produce una **transferencia de materia** de una fase a otra. La transferencia de materia consiste en que uno o varios componentes que están en una fase se transfieren a otra fase hasta alcanzar el equilibrio.

Tomando como punto de partida lo anterior y de manera general, se ha visto la **extracción** como la separación de componentes de mezclas sólidas o líquidas por su disolución en un disolvente líquido. A la disolución formada por el disolvente utilizado y el componente a separar se le denomina **extracto**, mientras que a la mezcla formada por el otro componente y parte del disolvente extractor se le denomina **refinado**. En el caso de la extracción sólido-líquido ocurre cuando un componente o varios componentes en fase sólida se transfieren a un disolvente líquido.

A continuación vamos a comentar de forma detallada en qué consiste el proceso de **extracción líquido-líquido**, así como los principales métodos de este tipo de extracción, los distintos equipos existentes a nivel industrial, las variables que pueden influir en el proceso y los problemas que pueden surgir en los equipos.

### 2. Extracción Líquido-Líquido

#### 1.1. Concepto de extracción líquido-líquido

La extracción líquido-líquido, también conocida como extracción con disolventes, es la separación de un componente de una mezcla homogénea líquida (alimentación) por su contacto con un disolvente líquido inmiscible o parcialmente miscible con lo anterior. Por tanto, es una transferencia de materia de un componente de una fase líquida a otra líquida (ver Figura 1). Como ejemplo se podría considerar la eliminación del ácido acético disuelto en tolueno por su disolución en el disolvente agua. La disolución acuosa de ácido acético es el extracto y la disolución de tolueno que queda es el refinado.

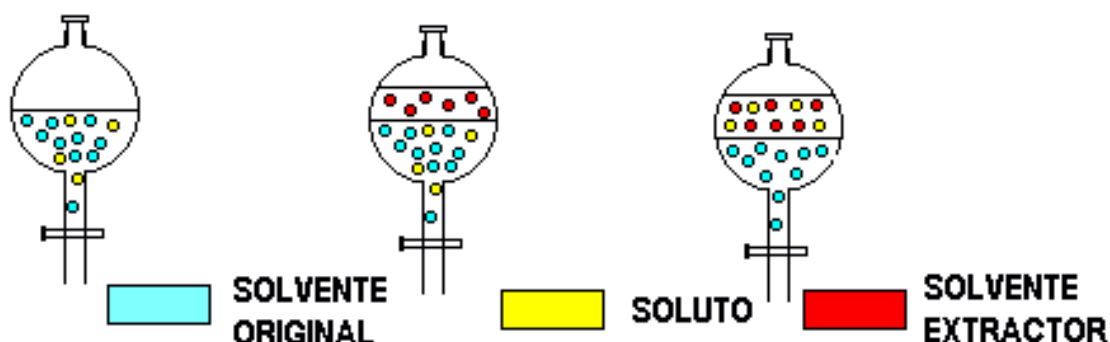


Figura 1. Esquema de la extracción líquido-líquido.

De forma simplificada, tomaremos como referencia en esta extracción un sistema ternario constituido por tres componentes que son los siguientes:

- Soluto: El componente que nos interesa separar y es el minoritario de la mezcla de alimentación.
- Diluyente o portador (<<carrier>>): El componente mayoritario de la mezcla de alimentación que acompaña al soluto.
- Disolvente (extractor): El líquido que añadimos a la mezcla inicial para extraer el soluto.

Consideramos un sistema ternario sin olvidar que en algunas ocasiones la alimentación tiene otros componentes (solutos) que no se quieren transferir.

En el proceso de extracción líquido-líquido, la alimentación formada por el soluto y el diluyente se pone en contacto con el disolvente extractor, de tal manera que una vez que se mezclan, se produce la transferencia de soluto de una fase líquida a otra y se obtendrán dos fases al final del proceso que serán las siguientes:

- Refinado: La fase líquida **rica en diluyente** (componente mayoritario de la alimentación) y una pequeña parte del disolvente extractor. Después se separa lo que queda del disolvente extractor y se obtiene un producto refinado (ver Figura 2) que estará formado por el diluyente.
- Extracto: La fase líquida **rica en el disolvente extractor** con buena parte de soluto que nos interesa extraer (soluto es el componente minoritario de la alimentación inicial). Después se separa lo que queda del disolvente extractor y se obtiene como producto extraído el soluto (ver Figura 2).

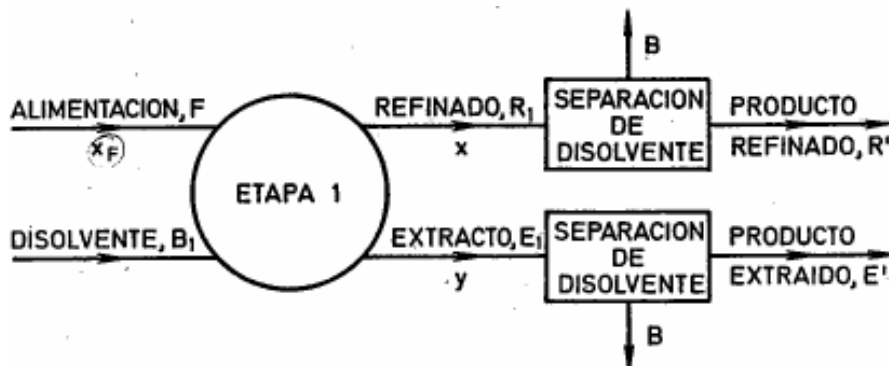


Figura 2. Proceso de extracción L-L en una sola etapa.

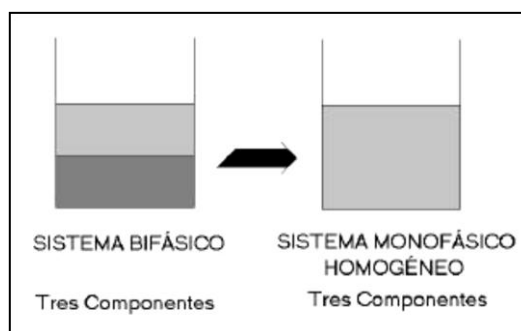
El disolvente extractor que se recupera tanto en el refinado como en el extracto se puede volver a utilizar de nuevo en el proceso.

## 1.2. Características del disolvente. Líquidos inmiscibles y parcialmente miscibles.

El disolvente extractor es el líquido que se utiliza para extraer o separar el soluto de la alimentación inicial. Este disolvente a su vez tiene que cumplir con una serie de características para que el proceso de extracción sea más efectivo y podamos extraer la mayor cantidad posible de soluto. Algunas de estas características son las siguientes:

- El soluto a extraer debe ser muy soluble en el disolvente extractor (lo ideal que sea más que en el diluyente o disolvente de la alimentación). El resto de solutos de la alimentación no. Por ello el disolvente extractor debe ser selectivo.
- El disolvente extractor debe ser inmiscible con el de la alimentación (el diluyente). Existen pocos líquidos totalmente inmiscibles, de manera que existen los que se denominan líquidos parcialmente miscibles. Estos líquidos cuando se mezclan se separan en dos capas. Una capa contiene una gran proporción de uno de los líquidos y poca proporción del otro. La otra capa se halla a la inversa. La miscibilidad depende de la temperatura, ya que en los líquidos habitualmente aumenta al aumentar la misma. Por ello, los líquidos que a una  $T^a$  son inmiscibles, a otra más elevada pueden ser parcialmente miscibles y a otra superior miscibles. La miscibilidad también depende de la concentración de soluto a transferir, de manera que según esta concentración, los disolventes pueden ser inmiscibles, parcialmente miscibles o miscibles.

Ejemplo: Suponemos una mezcla bifásica de agua y triclorometano, ambos son inmiscibles. A esta mezcla se le añade un poco de ácido acético, el cual es soluble en ambas especies y por tanto se disuelve en ambas fases. Estas permanecen inmiscibles, pero sin embargo se produce un cambio cualitativo importante. Ahora las fases no están constituidas por componentes puros, sino que ambas son disoluciones de dos componentes que contienen uno en común, el ácido acético, en concentraciones muy pequeñas. Si continuamos añadiendo ácido acético, las fases se van haciendo cada vez más concentradas en este componente. A nivel molecular, en la fase inicialmente formada por triclorometano, cada vez existen más moléculas de esta especie rodeadas por las de ácido acético. Algo similar ocurre en la fase acuosa donde los iones acetato se distribuyen entre moléculas de agua. Alcanzada una concentración límite de ácido acético, el sistema sufre un cambio sustancial y pasa de ser bifásico, a estar constituido por una sola fase (ver Figura 3).



**Figura 3.** Influencia de la concentración de soluto a extraer en sistemas de 3 componentes.

- Recuperable: Es necesario recuperar el disolvente para volverlo a utilizar.
- Densidad: Es necesaria una diferencia de densidades de las fases líquidas en equilibrio para favorecer la separación.
- Reactividad química: El disolvente debe ser estable y químicamente inerte frente al resto de componentes del sistema y frente a los materiales más comunes de construcción de los equipos.
- Viscosidad, presión de vapor y punto de congelación: Deben ser bajos para facilitar el manejo y el almacenamiento.

- Tensión superficial moderada para evitar la fuerte dispersión entre las fases que se forman, dando lugar a emulsiones y espumas, que en ocasiones pueden ser muy estables y esto puede perjudicar la separación de fases.
- No tóxico
- No inflamable
- Bajo coste y de fácil acceso.

## 2. Etapas de la extracción L-L

Aquí se produce lo mismo que en la extracción sólido-líquido. Las etapas de extracción líquido-líquido son las siguientes:

- Mezcla o contacto de la alimentación líquida (soluto y diluyente) con el disolvente extractor el tiempo necesario para alcanzar un estado de equilibrio entre las dos fases tras producirse la transferencia de materia del soluto de la alimentación al disolvente extractor. El equilibrio que se produce es el siguiente:



- La separación física (por decantación o por centrifugación) de las dos fases en una solución rica en disolvente extractor (extracto) y otra fase líquida rica en diluyente (refinado), inmiscible de la primera y separada por diferencia de densidades.

Posteriormente debe recuperarse el disolvente extractor para volverlo a utilizar, de manera que con ello se puede obtener el soluto deseado.

## 3. Algunas aplicaciones de la extracción líquido-líquido

La extracción líquido-líquido se suele utilizar a nivel industrial principalmente para separar el producto deseado de forma selectiva de una mezcla, aunque a veces lo que se pretende con la extracción es eliminar impurezas no deseadas de una disolución (procesos de purificación).

A su vez, la extracción líquido-líquido se puede utilizar para los siguientes procesos:

- Separación de líquidos con puntos de ebullición próximos.
- Separación de mezclas que forman azeótropos. Un **azeótropo** (también conocido como “mezcla azeotrópica”) es una mezcla de uno o más compuestos químicos, en los que la composición del líquido y del vapor son iguales, por lo que al no haber cambio en la misma, el punto de ebullición es constante, comportándose como si se tratase de una sustancia pura.
- Separación de sustancias sensibles al calor ya que en este tipo de extracción se trabaja a unas condiciones estables de temperatura y presión.
- Como alternativa a las destilaciones en alto vacío, evaporaciones, cristalizaciones costosas.

Algunas aplicaciones industriales podrían ser las siguientes:

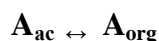
- Extracción de compuestos aromáticos y naftenicos (compuestos orgánicos que contienen una o más estructuras cíclicas (de anillo) saturadas o dichas estructuras son buena parte de la molécula) para la producción de aceites lubricantes.
- Separación de aromáticos (Benceno, Tolueno, Xilenos) de las parafinas con tetrametileno sulfona.

- Separación de metales pesados (Ni, Cu, Zn,...) de efluentes acuosos con ácidos o aminas.
- Recuperación de Uranio.
- Extracción de Penicilina y Proteínas.

#### 4. Equilibrio. Concepto y cálculo del coeficiente de reparto

El grado en el cual los solutos, tanto orgánicos como inorgánicos, se distribuyen entre dos líquidos inmiscibles difiere enormemente, y estas diferencias se han utilizado durante décadas para llevar a cabo separaciones de especies químicas.

La partición de un soluto entre dos fases inmiscibles es un fenómeno de equilibrio que está gobernado por la *Ley de Distribución*. Si se permite que la especie soluto A se distribuya por sí misma entre agua y una fase orgánica, el equilibrio resultante se puede escribir como:



donde los subíndices se refieren a las fases acuosa y orgánica, respectivamente. De esta manera, la constante del equilibrio que se origina durante la extracción a una temperatura dada viene definida de la siguiente manera:

\_\_\_\_\_

La constante de equilibrio K se conoce como *coeficiente de reparto o de distribución*, que a su vez depende del disolvente empleado, de la composición de la mezcla y de la temperatura de operación.

#### Ejemplo de aplicación:

Se dispone de 1000 cm<sup>3</sup> de agua que contienen 5 g de yodo. Se añaden 250 cm<sup>3</sup> de CCl<sub>4</sub>, se agita bien la mezcla para que se alcance el equilibrio y se deja reposar. Calcúlese la cantidad de yodo que existe entonces en cada una de las fases (acuosa y la orgánica de CCl<sub>4</sub>). El coeficiente de reparto del yodo entre el CCl<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O vale 85.

#### Solución:

Sabiendo que el coeficiente de reparto es:

\_\_\_\_\_

donde:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

x= cantidad de yodo en gramos que pasa a la fase orgánica

De manera que sustituyendo en la constante de reparto, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{---} \\
 & \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \\
 & \text{---} \\
 & 250 \cdot 85 \cdot (5-x) = 1000 \cdot x; \\
 & 106250 - 21250 \cdot x = 1000 \cdot x; \\
 & 106250 = 22250 \cdot x; \\
 & x = \mathbf{4,775 \text{ g}}
 \end{aligned}$$

Las cantidades de  $I_2$  presentes en cada fase serán las siguientes:

$$\text{Fase acuosa: } m(I_2) = 5 - x = 5 - 4,775 \text{ g} = \mathbf{0,225 \text{ g.}}$$

$$\text{Fase orgánica: } m(I_2) = x = \mathbf{4,775 \text{ g.}}$$

De forma general y teniendo en cuenta la terminología vista anteriormente en lo que respecta al extracto (E) y refinado (R) en la extracción líquido-líquido, el coeficiente de distribución o de reparto de un componente  $i$  entre las dos fases líquidas separadas es la relación entre las concentraciones que alcanza ese componente en ambas fases en equilibrio:

—

El coeficiente de reparto de los componentes de la mezcla a separar depende de la temperatura de operación, del disolvente empleado y de la composición de la mezcla. En el caso más sencillo el soluto se reparte entre dos fases líquidas inmiscibles, pero en la mayoría de casos los disolventes son parcialmente miscibles entre sí. La concentración de soluto influye sobre la solubilidad mutua de ambos componentes.

La extracción líquido-líquido se lleva a cabo a nivel de laboratorio mediante un instrumento llamado embudo de decantación o de separación (ver Figura 4) que consiste en un recipiente de vidrio con forma de pera invertida o cono invertido. Este a su vez presenta en su parte inferior una salida regulada por una válvula que permite la salida de los líquidos que se pretenden separar en la zona inferior del recipiente. En la parte superior hay una abertura que puede sellarse con un tapón, el cual permite cargar su interior con los líquidos inmiscibles.



**Figura 4.** Embudo de decantación.



El embudo de decantación se utiliza principalmente para separar líquidos inmiscibles o insolubles (no se mezclan) que se separan, por diferencia de densidades y propiedades moleculares que estos líquidos poseen. De esta manera, mediante un tiempo se apartan en dos o más fracciones dependiendo de la cantidad de productos contenidos en el interior del recipiente.

Este proceso de extracción líquida que se lleva a cabo a pequeña escala a nivel de laboratorio puede desarrollarse de dos formas:

- Extracción Simple: Es una extracción que se realiza en una sola etapa, que en el caso de que tengamos dos fases, como ya se ha comentado antes en la explicación del coeficiente de reparto, la acuosa y la orgánica, se separa la solución acuosa una sola vez tras haber añadido previamente un único volumen de disolvente orgánico para extraer el soluto. La ecuación en este caso será la siguiente:

\_\_\_\_\_

siendo A el soluto que nos interesa extraer y que se reparte entre la fase acuosa y la fase orgánica, ambas inmiscibles.

Si consideramos que  $[A]_{ac} = \frac{x}{V_{ac}}$  y  $[A]_{org} = \frac{n_A - x}{V_{org}}$ , donde x es la cantidad de soluto extraída con la fase orgánica y  $n_A$  el número de moles iniciales de soluto en la fase acuosa antes de la extracción, la ecuación de la constante de reparto queda de la siguiente manera:

$$K = \frac{[A]_{org}}{[A]_{ac}}$$

De manera que despejando x de la ecuación anterior, se obtiene lo siguiente:

$$K = \frac{n_A - x}{x \cdot \frac{V_{ac}}{V_{org}}}$$

$$\frac{x \cdot \frac{V_{ac}}{V_{org}}}{K} = n_A - x;$$

$$V_{org} * (n_A - x) * K = x * V_{ac};$$

$$V_{org} * K * n_A = x * (V_{ac} + V_{org} * K);$$

$$x = \frac{V_{org} * K * n_A}{V_{ac} + V_{org} * K}$$

- Extracción Múltiple: Si partimos del mismo planteamiento que antes, en el que hay dos fases, la orgánica y la acuosa, la extracción múltiple se lleva a cabo en varias etapas añadiendo para un volumen determinado de disolución acuosa, varias porciones de disolvente orgánico a un volumen más reducido. En esta situación, los coeficientes de reparto son útiles porque permiten el cálculo de la concentración de soluto restante en la solución acuosa después de un cierto número de extracciones. De esta manera, la

extracción múltiple con  $n$  porciones de volumen de disolvente orgánico viene dada por la siguiente ecuación:

---

en donde  $[A_{ac}]_n$  es la concentración de soluto restante en la solución acuosa después de la  $n$ -ésima extracción.  $V_{ac}$  es el volumen de la solución acuosa que tenía una concentración original de  $[A_{ac}]_0$ . Cada una de las extracciones se realiza con un volumen  $V_{org}$  determinado, siendo el mismo para cada extracción.

### **Ejemplo de aplicación:**

**El coeficiente de reparto o de distribución para el yodo entre un disolvente orgánico y agua es 85. Calcúlese la concentración de  $I_2$  restante en la capa acuosa después de la extracción de 50,0 ml de  $I_2$   $1,00 \times 10^{-3}$  M con las cantidades siguientes del disolvente orgánico: a) 1 porción de 50,0 ml; b) dos porciones de 25,0 ml; c) cinco porciones de 10,0 ml.**

### **Solución:**

Para cada caso sustituimos en la expresión anterior para este ejemplo en concreto de tal manera que obtenemos lo siguiente:

---

$$a) [I_2]_1 = 1,00 \times 10^{-3} * [50 / (50 + 50 * 85)]^1 = \mathbf{1,16 \times 10^{-5} \text{ M}}$$

$$b) [I_2]_2 = 1,00 \times 10^{-3} * [50 / (50 + 25 * 85)]^2 = \mathbf{5,28 \times 10^{-7} \text{ M}}$$

$$c) [I_2]_5 = 1,00 \times 10^{-3} * [50 / (50 + 10 * 85)]^5 = \mathbf{5,29 \times 10^{-10} \text{ M}}$$

A raíz de los resultados anteriores, podemos observar que se mejora la eficiencia con la extracción múltiple, ya que al dividir el volumen total de fase orgánica en pequeñas porciones de igual volumen, la concentración final de soluto en fase acuosa es cada vez menor y con ello, mayor cantidad de  $I_2$  que se ha extraído. Si calculamos para cada caso el % de  $I_2$  que se ha extraído se obtiene los siguientes resultados:

---

$$a) \% (I_2 \text{ extraído})_1 = [(I_2)_0 - (I_2)_1] / (I_2)_0 * 100 = [(1,00 \times 10^{-3} - 1,16 \times 10^{-5} \text{ M}) / 1,00 \times 10^{-3}] * 100 = \mathbf{98,84\% (1,16\% \text{ en fase acuosa})}$$

$$b) \% (I_2 \text{ extraído})_2 = [(I_2)_0 - (I_2)_2] / (I_2)_0 * 100 = [(1,00 \times 10^{-3} - 5,28 \times 10^{-7} \text{ M}) / 1,00 \times 10^{-3}] * 100 = \mathbf{99,95\% (0,05\% \text{ en fase acuosa})}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \% (I_2 \text{ extraído})_5 &= \frac{([I_2]_0 - [I_2]_5)}{[I_2]_0} * 100 = \\ &= \frac{(1,00 \times 10^{-3} - 5,29 \times 10^{-10} \text{ M})}{1,00 \times 10^{-3}} * 100 = \mathbf{99,99\% (0,01\% \text{ en fase acuosa})} \end{aligned}$$

La expresión para la extracción múltiple también se puede plantear en función de masas o en unidades de cantidad de sustancia, sabiendo que  $[A_{ac}]_n = (nA_{ac})_n / V_{ac}$  y  $[A_{ac}]_0 = (nA_{ac})_0 / V_{ac}$ :

$$\begin{array}{ccc} \text{—————} & & \text{(En unidades de concentración)} \\ & & \downarrow \\ (nA_{ac})_n = [A_{ac}]_n * V_{ac} \text{ y } (nA_{ac})_0 = [A_{ac}]_0 * V_{ac} & & \\ & & \text{—————} \text{ (En unidades de moles)} \\ & & \downarrow \\ (mA_{ac})_n = (nA_{ac})_n * M_A \text{ y } (mA_{ac})_0 = (nA_{ac})_0 * M_A & & \\ & & \text{—————} \text{ (En unidades de masa)} \end{array}$$

donde  $M_A$  es el peso molecular del soluto a extraer A.

## 5. Métodos de cálculo en sistemas ternarios de extracción líquido-líquido

En el caso de la extracción líquido-líquido estudiaremos sistemas ternarios (3 componentes), aunque el estudio se puede ampliar a sistemas multicomponentes, que estos últimos requieren de modelos termodinámicos más complejos.

### 5.1. Diagrama triangular. Utilidad

Para representar los sistemas ternarios en una extracción líquida utilizaremos de forma habitual los diagramas triangulares y en concreto el diagrama del triángulo equilátero (ver Figura 5).

Este diagrama presenta las siguientes características:

- En cualquier punto del triángulo equilátero, la suma de las distancias perpendiculares hasta los tres lados es igual a la altura del triángulo.
- Cada uno de los vértices del triángulo representa los componentes puros.
- Sobre cada lado se representan las mezclas binarias de los componentes que se encuentran en los vértices correspondientes a ese lado.
- Cualquier punto interior representa una mezcla ternaria.

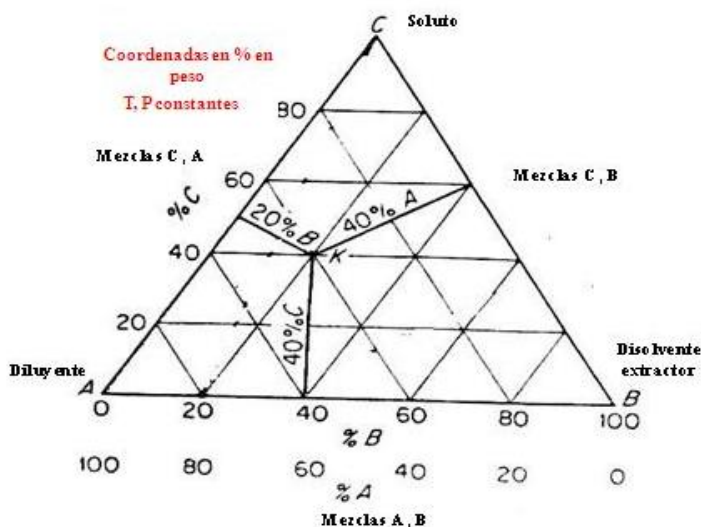


Figura 5. Diagrama de triángulo equilátero de un sistema ternario.

Si representamos un punto de composición ternaria cualquiera, el punto K, como aparece en la figura 5, la composición del soluto C es del 40%, mientras que del disolvente B y el diluyente A son el 20 y el 40% respectivamente. De esta manera, la suma de composiciones de cada punto del diagrama es el 100% (en el punto K,  $x_A + x_B + x_C = 40\% + 20\% + 40\% = 100\%$ ).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que los sistemas ternarios trabajan a unas condiciones de temperatura y presión determinadas, ya que la variación de las mismas podría afectar a la solubilidad de los componentes, sobre todo la temperatura en el caso de los líquidos.

En la Figura 6 se observa la relación que hay entre los puntos representados en un diagrama triangular y sus composiciones correspondientes:

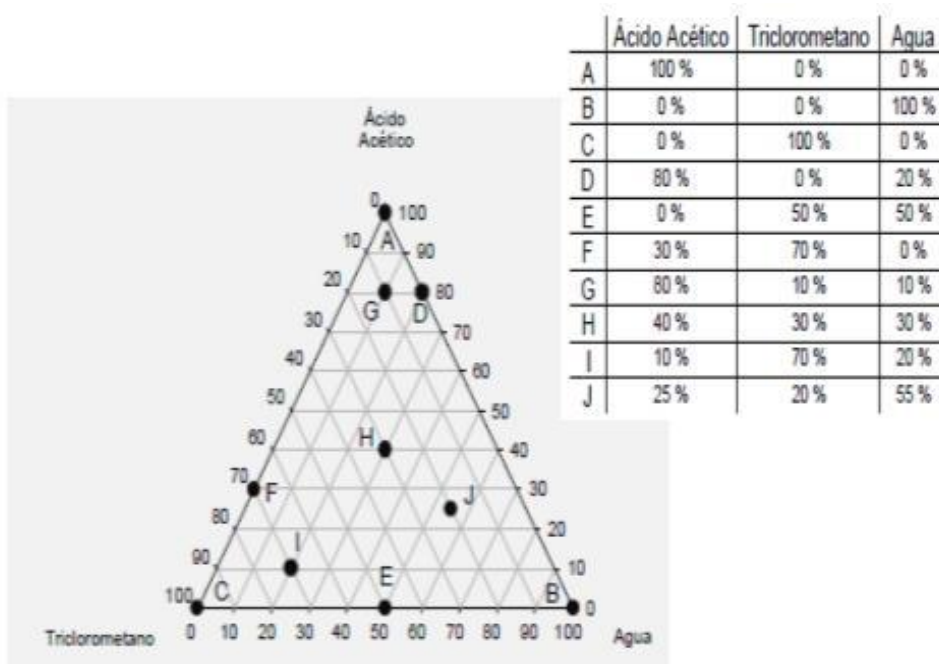
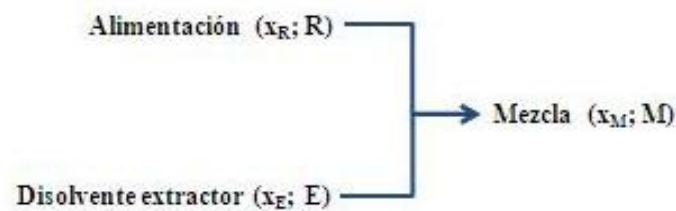


Figura 6. Relación entre las coordenadas de un diagrama triangular y las composiciones.

Por otra parte, también es posible determinar con el diagrama triangular la composición de un punto intermedio o punto de mezcla a partir de las corrientes de entrada o bien determinar la cantidad que se debe adicionar de un determinado componente a una de las corrientes iniciales.

Nosotros consideramos que se mezclan dos corrientes de composición y cantidades determinadas, la **alimentación** y el **disolvente extractor**, siendo **R** y **E** los flujos másicos de las corrientes de alimentación y disolvente extractor respectivamente, así como **x<sub>R</sub>** y **x<sub>E</sub>** las fracciones másicas del soluto o componente que nos interesa extraer de las corrientes de alimentación y disolvente extractor respectivamente. Partiendo de este planteamiento previo, ambas corrientes se mezclan para dar una corriente de mezcla intermedia de flujo másico **M** y fracción másica de soluto **x<sub>M</sub>**, de manera que el esquema será el siguiente:



Una vez que se ha planteado el esquema del proceso, para hallar el punto de mezcla (**x<sub>M</sub>**; **M**) se realizará tanto un balance de materia a nivel global como un balance de materia al soluto que nos interesa extraer:

- Balance de materia Global (si es un sistema por lotes o discontinuo, los caudales estarán en kg y si es por corrientes de forma continua será en kg/h):

$$\mathbf{E + R = M}$$

- Balance de materia al soluto que nos interesa extraer:

$$\mathbf{x_E * E + x_R * R = x_M * M}$$

A partir de ambos balances de materia (global y del soluto a extraer), se deduce la **Regla de la Palanca** de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{E + R = M} \quad [1] \\ \mathbf{x_E * E + x_R * R = x_M * M} \quad [2] \end{array} \right.$$

Sustituimos la ecuación [1] en [2]:

$$\mathbf{x_E * E + x_R * R = x_M * (E + R)}$$

Agrupamos los términos en función de E y R:

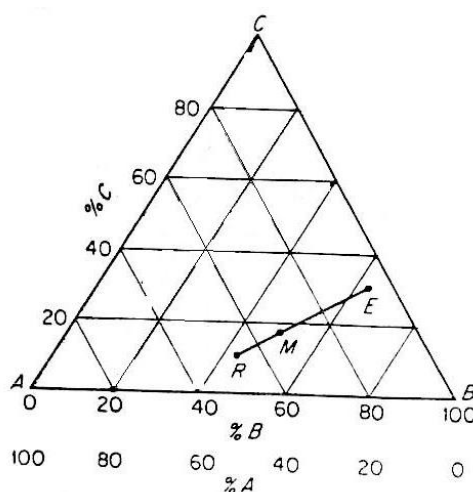
$$\mathbf{x_E * E - x_M * E = x_M * R - x_R * R}$$

$$(x_E - x_M) * E = (x_M - x_R) * R$$

Dejando la relación de composiciones en unos de los miembros y la de los caudales en otro, se obtiene la **Regla de la Palanca**:

— — — — —

Representando en diagrama triangular las relaciones de composición de un punto de mezcla M con las composiciones de las entradas (R y E), se obtiene lo siguiente:



Se observa que tanto los puntos de las corrientes de entrada (R, E) como el de mezcla (M) se hallan alineados en el diagrama triangular. Por ello, la relación entre la longitud de los segmentos es igual a la relación entre los flujos másicos de las corrientes de entrada (Regla de la Palanca):

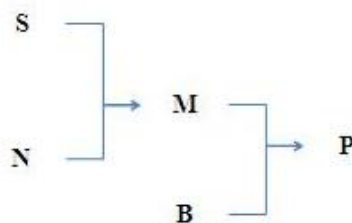
— — — — —

### Ejemplo de aplicación:

A partir de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  del 98% en peso (98% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 2% de  $\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{HNO}_3$  del 68% en peso (68% de  $\text{HNO}_3$  y 32% de  $\text{H}_2\text{O}$ ), y de agua se han de preparar 500 kg de una disolución cuya composición, en peso, sea 35% de  $\text{HNO}_3$ , 20% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 45% de  $\text{H}_2\text{O}$ . Empleando el diagrama triangular, calcúlese las cantidades necesarias de cada uno de los componentes.

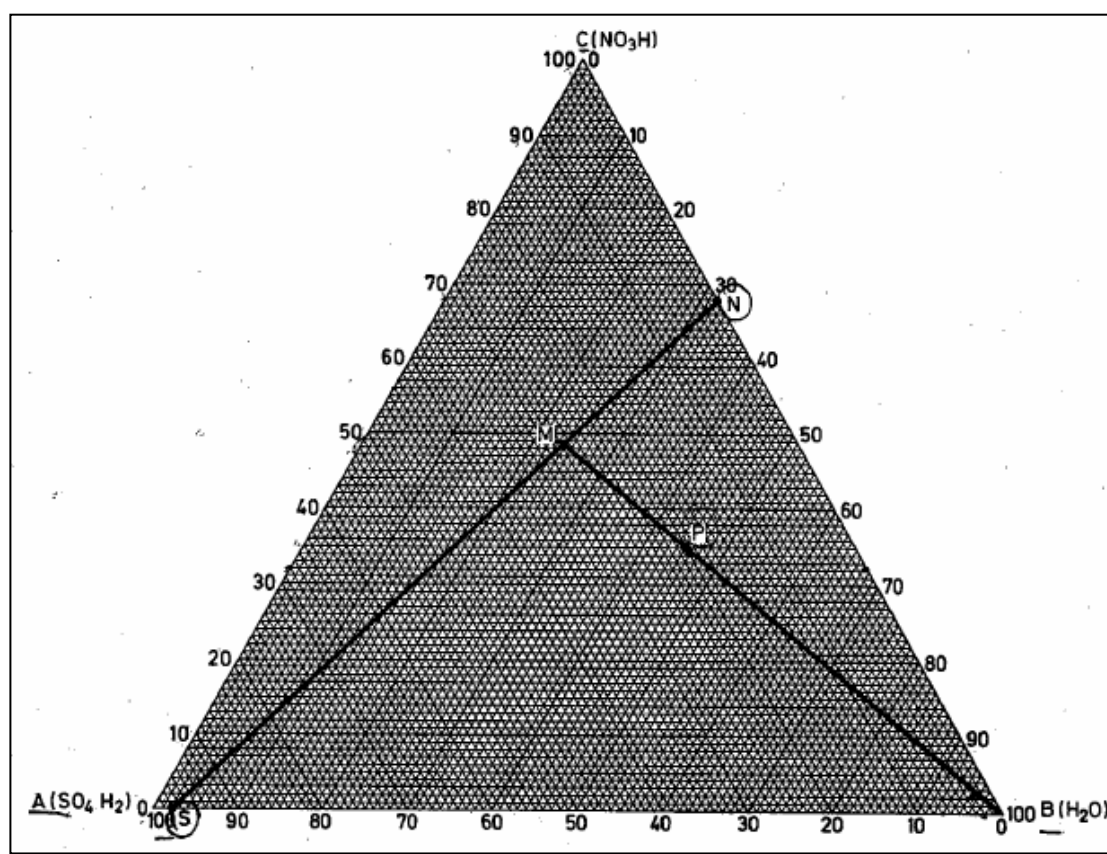
### Solución:

Para facilitar el planteamiento de este problema en un diagrama triangular, los flujos de corrientes serán los siguientes:



La **corriente S** (98% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 2% de  $\text{H}_2\text{O}$ ) se combina primero con la **corriente N** (68% de  $\text{HNO}_3$  y 32% de  $\text{H}_2\text{O}$ ), dando lugar a una **corriente intermedia M**. Posteriormente, esta corriente se combina con **B** (100% de  $\text{H}_2\text{O}$ ), de manera que finalmente se obtiene un **producto final P**, cuyo caudal es 500 kg y su composición de 35% de  $\text{HNO}_3$ , 20% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 45% de  $\text{H}_2\text{O}$ .

De esta manera, se representa lo primero en el diagrama triangular los puntos cuya composición ya conocemos (S, N, B y P). Trazamos la recta que une S con N. Teniendo en cuenta el esquema de flujos que se ha planteado antes, trazamos la recta que unirá B con P hasta que corte al segmento SN. La intersección será el punto M. El diagrama triangular con todos los trazados quedará representado de la siguiente manera:



A partir de los datos del diagrama triangular anterior, para el punto M podemos deducir gráficamente cuales son los valores de la composición de los tres componentes ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ). De esta manera, si tomamos como referencia el  $\text{HNO}_3$ , se obtiene como composición en el punto M un valor de  $x_M = 0,486$  (48,6%) aproximadamente. Con ello podemos hallar las

cantidades de cada uno de los componentes aplicando la Regla de la Palanca para cada punto de mezcla y los balances de materia globales:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \mathbf{M + B = P = 500 \text{ kg}} \end{array} \right.$$

Resolviendo este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (M y B), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{M = 359,7 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{B = 140,3 \text{ kg}}$$

De forma análoga se hace lo mismo para el otro caso:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \mathbf{S + N = M = 359,7 \text{ kg}} \end{array} \right.$$

Resolviendo este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (N y S), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{N = 257,3 \text{ kg}; S = 102,4 \text{ kg}}$$

### 5.2. Curva de solubilidad para disolventes parcialmente miscibles. Rectas de reparto.

Como ya hemos comentado antes, en la mayoría de los casos el **diluyente** (el disolvente de la alimentación) y el **disolvente extractor** son **parcialmente miscibles** entre sí, pero hay miscibilidad completa del soluto o componente a extraer en ambos líquidos. Para este caso, el diagrama se presentará de la siguiente forma:



**Figura 7.** Diagrama triangular para el caso de dos líquidos, A (diluyente) y B (disolvente), parcialmente miscibles.



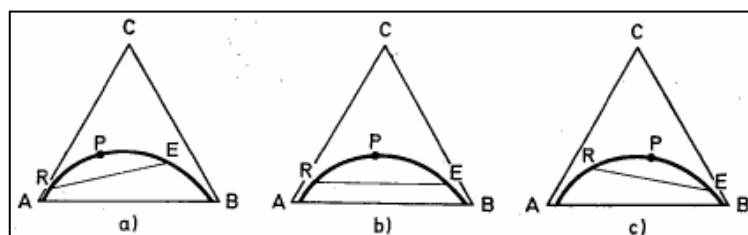
Como se observa en la Figura 7, se pueden distinguir dos regiones separadas por la curva de solubilidad (o curva de saturación): la zona miscible y la zona inmiscible.

La zona inmiscible está formada por dos fases líquidas inmiscibles (una rica en disolvente extractor B y otra rica en diluyente A). La zona miscible se forma debido a que el soluto C es soluble en ambos disolventes a la vez.

El soluto se distribuye en dos fases líquidas formando un par de disoluciones conjugadas ( $E_1, R_1$ ), ( $E_2, R_2$ ), ( $E_3, R_3$ ),... e irá variando la proporción relativa de ambas fases a medida que se va añadiendo el soluto C. Las composiciones de ambas fases (E y R) se unen por medio de una recta de reparto, que une las dos fases (extracto y refinado) que están en equilibrio.

Si observamos la evolución de las rectas de reparto, encontraremos que al aumentar la cantidad de soluto C, la composición de ambas fases (extracto E y refinado R) se va aproximando. De esta manera, en el punto P, las dos disoluciones conjugadas presentan la misma composición, pasando a ser una sola fase. Este punto se denomina punto crítico del sistema o punto de pliegue, en el cual el coeficiente de reparto o de distribución ( $K=C_E/C_R$ ) es igual a 1.

Las rectas de reparto no necesariamente tienen que ser paralelas y la pendiente de las mismas varía con las concentraciones y la naturaleza de la mezcla, pudiendo presentarse los siguientes casos que se observan en la siguiente figura:



**Figura 8.** Representación de las rectas de reparto: la fase E es más rica en C que la fase R (a), la distribución de C no está favorecida hacia ninguna de las fases (b) y la distribución de C esta favorecida hacia la fase R (c).

Se observa que en el caso a) la fase E es más rica en C que la fase R, de modo que la distribución del componente C esta favorecida hacia la fase más rica en B. En el caso b), la distribución de C no está favorecida hacia ninguna de las fases. Por último, en el caso c), la distribución del soluto C esta favorecida hacia la fase más rica en A.

La temperatura, como ya se había comentado en el apartado 2.2. referido a las características del disolvente extractor, influye en el proceso de tal forma que al aumentar la temperatura, la solubilidad en los líquidos por lo general aumenta de manera que la zona inmiscible va disminuyendo (ver Figura 9), llegando a una constituirse una única fase.

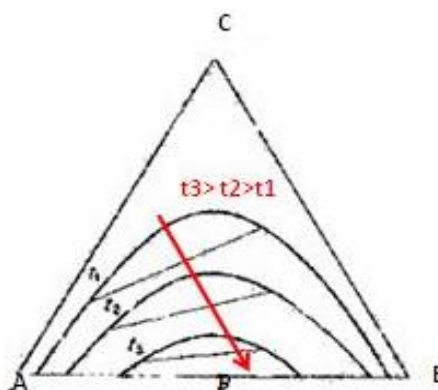


Figura 9. Efecto de la temperatura en la distribución de fases líquidas.

Una vez que se ha visto el fundamento teórico, vamos a comentar brevemente como se resuelven los problemas para el caso de dos líquidos parcialmente miscibles. Para ello haremos el siguiente ejemplo:

### Ejemplo de aplicación:

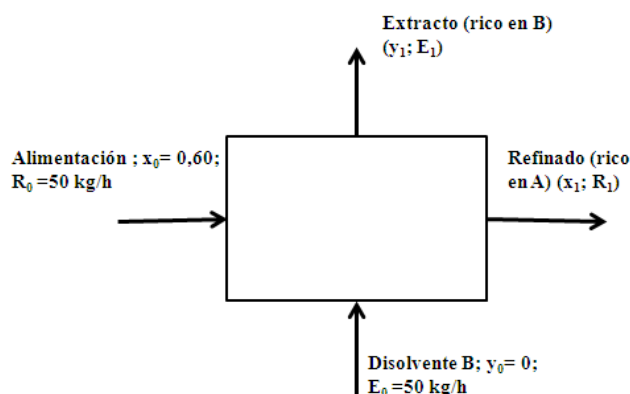
Se utiliza cloroformo para extraer acetona de una alimentación de 50 kg/h que contiene un 60% en peso de acetona en agua a 298 K y 1 atm. El proceso de extracción se lleva a cabo en una etapa con 50 kg/h de disolvente puro. Calcula el flujo y composición de las corrientes de salida.

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Fase acuosa % peso			Fase orgánica (cloroformo) % peso		
Agua	Cloroformo	Acetona	Agua	Cloroformo	Acetona
82,97	1,23	15,80	1,30	70,00	28,70
73,11	1,29	25,60	2,20	55,70	42,10
62,29	1,71	36,00	4,40	42,90	52,70
45,60	5,10	49,30	10,30	28,40	61,30
34,50	9,80	55,70	18,60	20,40	61,00
23,50	16,90	59,60	23,50	16,90	59,60

Antes de plantear el esquema hay que tener en cuenta lo siguiente:

- El cloroformo es el disolvente extractor y se denota con la letra B.
- El soluto es la acetona y el agua el diluyente, de manera que se denotan con las letras C y A respectivamente.
- El caudal de entrada del disolvente se denota con el símbolo  $E_0$  mientras que el caudal de alimentación se denota con el símbolo  $R_0$ .
- La concentración de acetona (en este caso en fracción másica) se denota con “x” para el refinado y con “y” para el extracto.
- Las corrientes  $E_0$  y  $R_0$  se combinan primero para dar un punto de mezcla ( $x_M$ ; M), para después separarse y dar lugar a las corrientes extracto ( $y_1$ ;  $E_1$ ) y refinado ( $x_1$ ;  $R_1$ ).

Por ello, el planteamiento del problema será el siguiente:



Los balances de materia son los siguientes:

- Balance global al sistema:  $E_0 + R_0 = M = E_1 + R_1$ ;  
 $M = 50 + 50 \text{ kg/h} = 100 \text{ kg/h}$

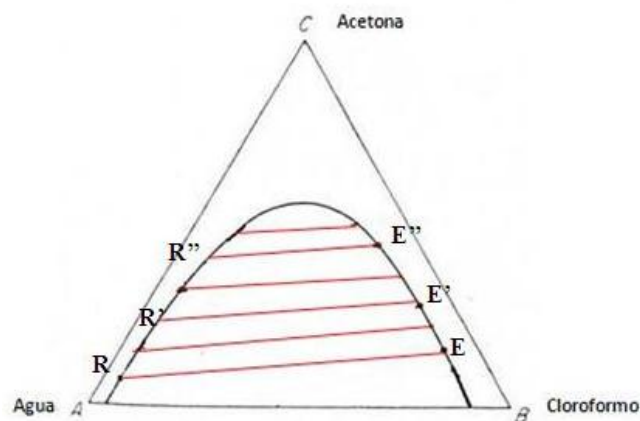
- Balance al componente C (soluto):

$$0 \cdot E_0 + 0,60 \cdot R_0 = x_M \cdot M = y_1 \cdot E_1 + x_1 \cdot R_1$$

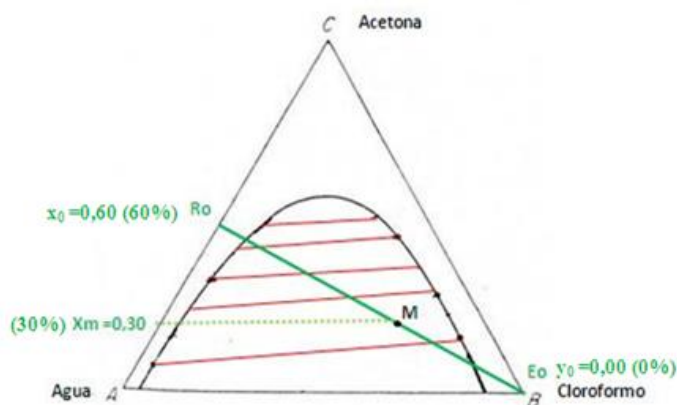
$$0,60 \cdot 50 \text{ kg/h} = x_M \cdot 100; \quad x_M = 0,30$$

Los valores del punto de mezcla son los siguientes:  $M = 100 \text{ kg/h}$ ;  $x_M = 0,30$

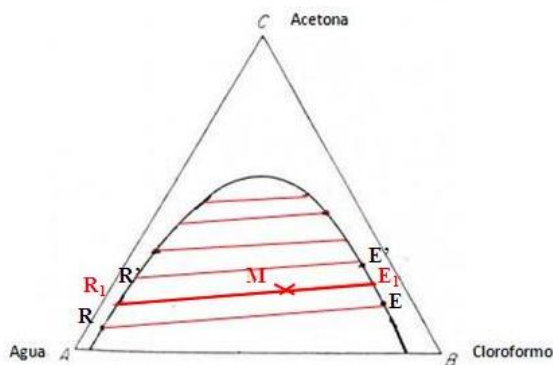
A partir de los datos de equilibrio que nos aporta el enunciado, se representa en un diagrama triangular la curva de solubilidad y a continuación teniendo en cuenta que el refinado es la fase rica en diluyente (en este caso es el agua) y el extracto la fase rica en disolvente extractor (en este caso es el cloroformo), se representan todas y cada una de las rectas de reparto para cada par de valores ( $E_i, R_i$ ) en equilibrio:



Una vez que se ha hecho esto, lo que hacemos es representar las corrientes de entrada de alimentación ( $x_0, R_0$ ) y de disolvente extractor ( $y_0, E_0$ ), así como el punto de mezcla ( $x_M, M$ ) en el diagrama triangular:



A continuación hay que determinar la recta de reparto que pasa por M de tal forma que podamos determinar los valores finales del extracto ( $y_1, E_1$ ) y del refinado ( $x_1, R_1$ ):



De esta manera, se observa que la recta de reparto que pasa por M está comprendida entre dos rectas (R, E) y (R', E') cuyas composiciones son las siguientes:

Recta 1	Agua (A)	Cloroformo (B)	Acetona (C)	Recta 2	Agua (A)	Cloroformo (B)	Acetona (C)
R	82,97	1,23	15,8	R'	73,11	1,29	25,6
E	1,3	70	28,7	E'	2,2	55,7	42,1

Se observa que los valores de  $y_1$  y de  $x_1$  estarán comprendidos de la siguiente manera:

$$15,8 < x_1 < 25,6$$

$$28,7 < y_1 < 42,1$$

De forma aproximada y por tanteo tomaremos un valor para ambos de manera que al trazar la recta de reparto pase por el punto  $x_M = 0,30$  (30%):

$$x_1 = 19,0\% (0,19)$$

$$y_1 = 33,0\% (0,33)$$

Una vez que se saben todas las composiciones finales, se procede a hallar los flujos másicos de refinado R y extracto E mediante balances de materia:

- Balance global al sistema:  $M = E_1 + R_1$ ;

$$100 \text{ kg/h} = E_1 + R_1$$

- Balance al componente C (soluto):  $x_M * M = y_1 * E_1 + x_1 * R_1$

$$0,30 * 100 = 0,33 * E_1 + 0,19 * R_1$$

Resolviendo el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas ( $E_1$  y  $R_1$ ) se obtiene que:

$$E_1 = 76,71 \text{ kg/h}$$

$$R_1 = 23,29 \text{ kg/h}$$

### 5.3. Otras curvas de solubilidad

En el caso visto anteriormente, nos hemos centrado en un componente (el soluto C) que es totalmente miscible con los otros dos líquidos (disolvente extractor B y diluyente A), que a su vez estos líquidos son parcialmente miscibles entre sí. Sin embargo, también pueden darse otras situaciones distintas:

- Mezclas A-B, y de A-C parcialmente miscibles (diagramas a) y b) de la Figura 10).
- Tres mezclas: A-B, B-C y C-D parcialmente miscibles (diagramas c) y d) de la Figura 10).

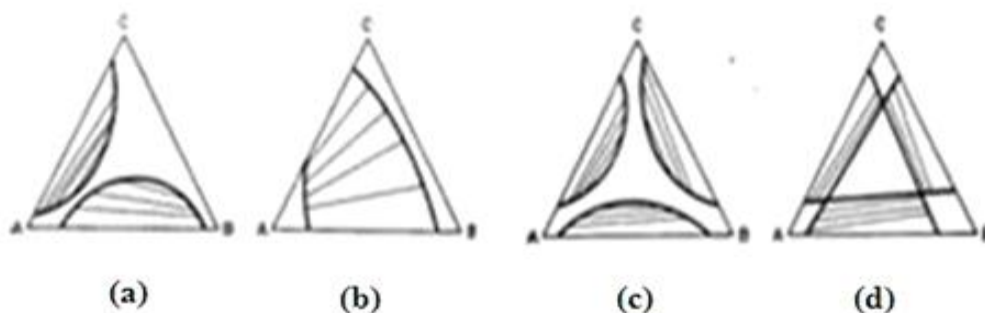


Figura 10. Otros sistemas ternarios.

## 6. Métodos de extracción L-L

Los métodos de extracción líquido-líquido son similares a los que se han visto en la extracción sólido-líquido.

Aunque no hay una clasificación única y exclusiva para los métodos de extracción líquido-líquida, una posible clasificación sería la que aparece en el esquema de la siguiente figura:

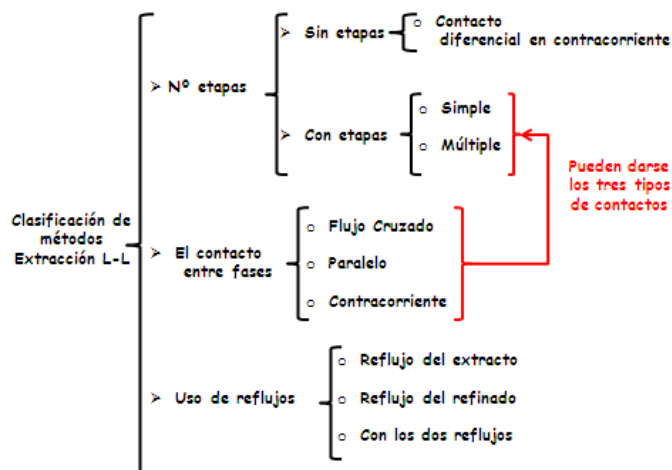


Figura 11. Clasificación de los métodos de extracción líquido-líquido.

### 6.1. Clasificación según las etapas

Dentro de este tipo de clasificación, los métodos de extracción pueden ser de dos maneras:

- Sin etapas
- Con etapas

En el caso del método **sin etapas**, destacaría el **contacto diferencial en contracorriente**. Este método está basado en la diferencia de densidades de las dos fases que se forman para conseguir la marcha a contracorriente, de manera que la fase menos densa (suele ser el disolvente extractor) se introduce por la sección inferior de una columna de torre y la más pesada (la alimentación) por la parte superior como se observa en la siguiente figura:

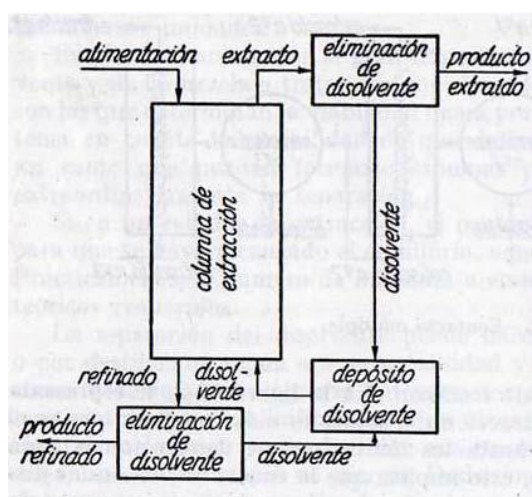


Figura 12. Contacto diferencial en contracorriente.

En el caso de que el método transcurra **por etapas**, este podría darse de dos formas:

- **Simple:** Está formado por una unidad de extracción. El disolvente y la alimentación se introducen juntos en las cantidades que se estimen convenientes y se separan las dos fases formadas. En la Figura 13 se representa este método para el caso en que la fase del extracto tiene una densidad inferior a la del refinado. Este sistema prácticamente se usa muy poco.

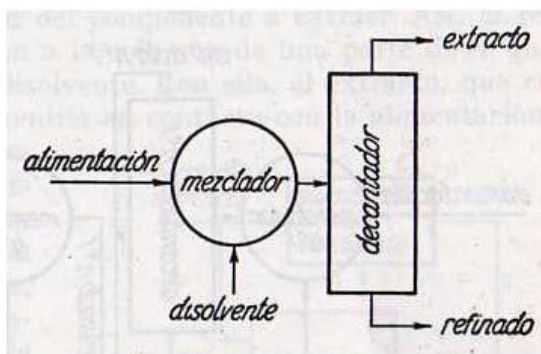


Figura 13. Contacto simple.

- **Múltiple:** Una mejora del proceso anterior consiste en dividir el disolvente en varias partes y tratar la alimentación sucesivamente con cada una de ellas. En la Figura 14 se representa un sistema de tres unidades de manera que en cada etapa hay un mezclador y decantador (en este caso sería el equipo mezclador-decantador el aparece representado pero puede ser otro distinto). La extracción del soluto es más completa que en el caso anterior y puede ser llevadas hasta los límites que se deseen aumentando el número de etapas.

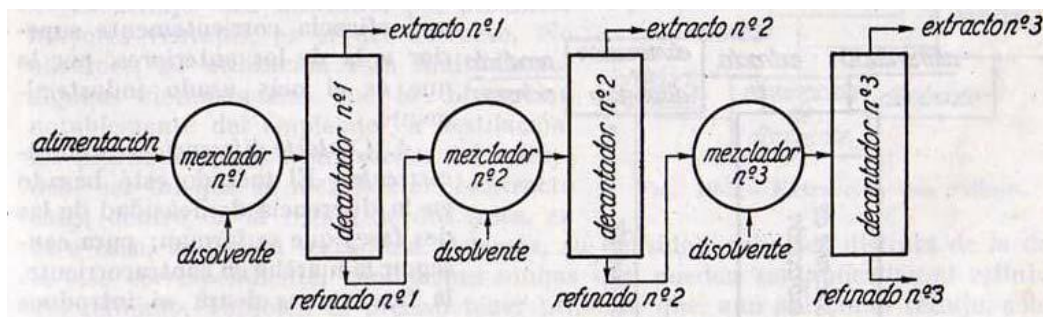


Figura 14. Contacto múltiple.

## 6.2. Clasificación según el contacto entre fases

Los procesos que transcurren por etapas que se han comentado anteriormente, tanto el simple como el múltiple, según el contacto entre las fases pueden ser de las siguientes maneras:

- **Flujo cruzado (o corrientes cruzadas):** Se basa en el entrecruzamiento de las dos corrientes líquidas, la de alimentación y la de disolvente extractor. Para el caso de la extracción con flujos cruzados en varias etapas, el refinado  $R_i$  procedente de una etapa de extracción establece contacto con el disolvente extractor fresco  $S_i$  y adicional en la etapa subsiguiente como se observa en la siguiente figura.

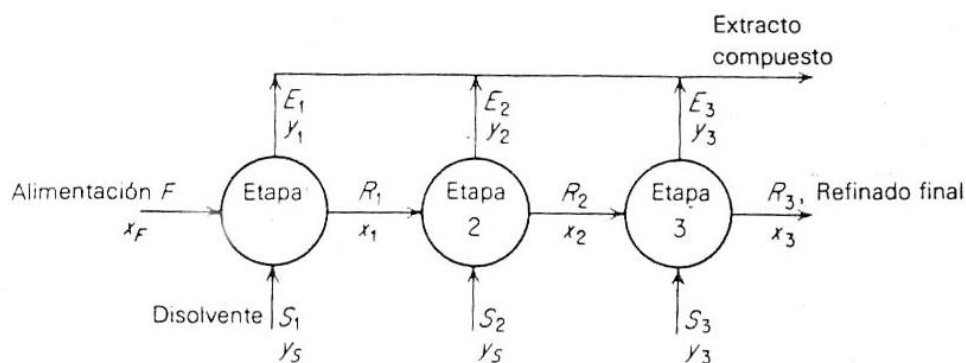


Figura 15. Extracción en corrientes cruzadas.

- **Paralelo (o corrientes paralelas):** En este caso no hay renovación de disolvente extractor y la transferencia de materia del soluto de una fase a otra se produce mediante el contacto por corrientes en paralelo como se observa en la siguiente figura:

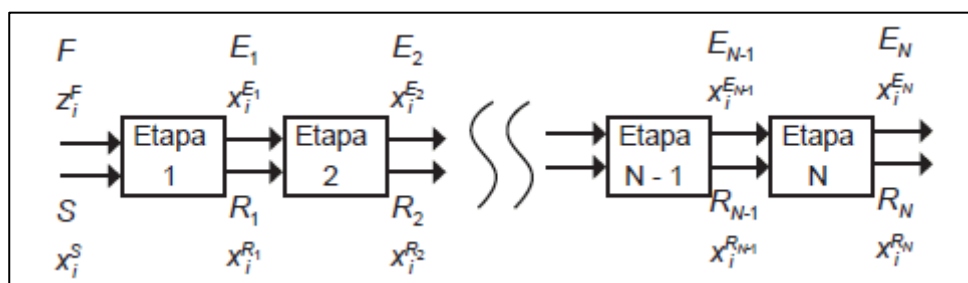


Figura 16. Extracción en corrientes paralelas.

- **Contracorriente:** En este caso, el disolvente S entra en la etapa de extracción situada en uno de los extremos y la corriente de alimentación F en el otro extremo, de manera que las dos fases circulan a contracorriente entre sí como se observa en la siguiente figura:

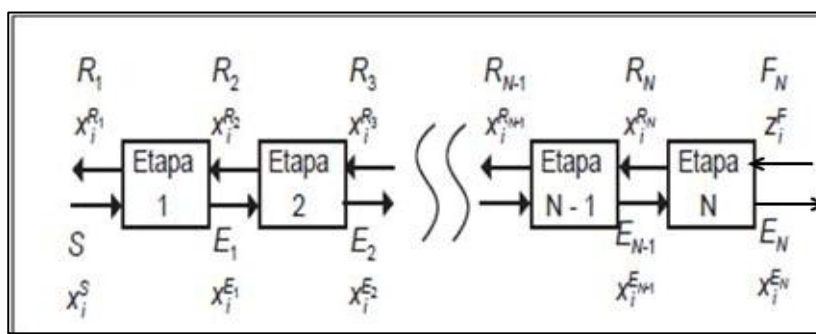


Figura 17. Extracción con flujos en contracorriente.

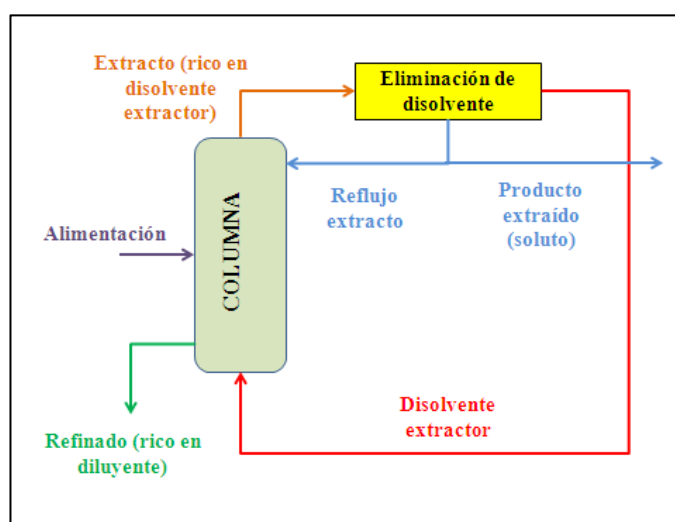
### 6.3. Clasificación según el uso de reflujos

En algunos casos, en la extracción líquido-líquido se hace uso de un reflujo, que consiste en una recirculación de parte del soluto extraído o de parte del refinado con el propósito de mejorar la transferencia de materia entre ambas fases. Esta técnica se suele utilizar en los sistemas de columna.

La extracción con reflujo se puede realizar por medio de las siguientes modalidades:

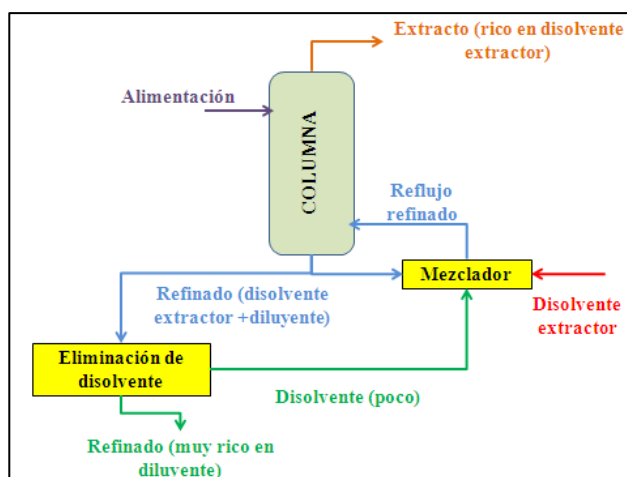


- **Reflujo del extracto:** Llamamos reflujo del extracto a la porción de producto extraído que es recirculada a la columna por la parte superior (ver Figura 18) o también por la parte inferior una vez separado el disolvente. En este caso la alimentación entra sobre la mitad de la columna y el disolvente se puede introducir por la parte superior o inferior de la columna según si es más denso que la alimentación o menos. Según este aspecto, el funcionamiento presentará las siguientes modalidades:
  - **Disolvente por la parte inferior:** El disolvente extractor ascenderá por la parte inferior mientras que la alimentación descenderá, de manera que conforme va ascendiendo, el disolvente extractor captará al soluto de la alimentación llegando a constituir el extracto (rico en disolvente extractor). El extracto sale por la parte superior, de manera que una vez que se elimina el disolvente extractor, este se recupera y el producto extraído (formado por soluto mayoritariamente junto con un poco de diluyente), una parte sale y otra parte retorna a la columna a través de reflujo. De esta manera, el reflujo del extracto lo que hace es transferir producto extraído (soluto) al extracto, consiguiendo una mayor concentración final de soluto en el mismo. El reflujo al bajar cuando alcanza a la alimentación constituirá parte del refinado.
  - **Disolvente por la parte superior:** Será similar pero el reflujo es por la parte inferior y la alimentación ascenderá.



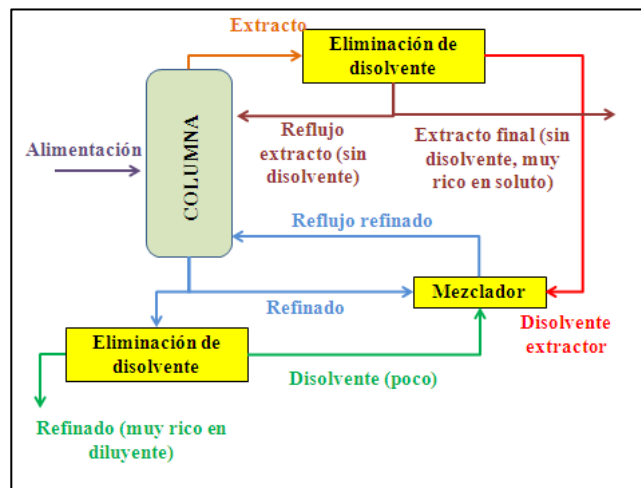
**Figura 18.** Extracción con reflujo del extracto por la parte superior de la columna. El disolvente en este caso es menos denso que la alimentación líquida.

- **Reflujo del refinado:** En este caso una porción del refinado se recircula a la columna una vez que se mezcla con el disolvente extractor. El reflujo lo forma el disolvente extractor mezclado con el refinado. El propósito es conseguir un refinado más rico en su componente mayoritario (diluyente o disolvente de alimentación). El disolvente extractor puede introducirse por la parte inferior, mezclándose con parte del refinado para luego recircularse (ver Figura 19). En este caso la alimentación se introduce por la parte superior, siendo su densidad superior a la del disolvente extractor.



**Figura 19.** Extracción con reflujo del refinado por la parte inferior de la columna. La alimentación líquida es más densa que el disolvente extractor.

- Con los dos reflujo: En este caso sería una combinación de los dos anteriores. La alimentación entraría por la mitad de la columna e iría descendiendo, mientras que el disolvente extractor recorrería un circuito cerrado entrando en la columna por la parte inferior a través del reflujo del refinado (ver Figura 20), liberándose en la parte superior del extracto final (formado por soluto mayoritariamente). A su vez, en la parte superior se produce un reflujo del extracto (sin disolvente) introduciéndose en la columna por la parte superior, de manera que lo que se consigue es un extracto final con una mayor concentración de soluto.



**Figura 20.** Extracción con los dos reflujo. La alimentación líquida es más densa que el disolvente extractor.

## 7. Equipos de extracción Líquido-Líquido

### 7.1. Clasificación de equipos

En la actualidad hay una gran variedad de equipos de extracción líquido-líquido, los cuales se pueden clasificar en función de si el contacto es por etapas o por contacto continuo diferencial, tal como se observa en la siguiente figura:

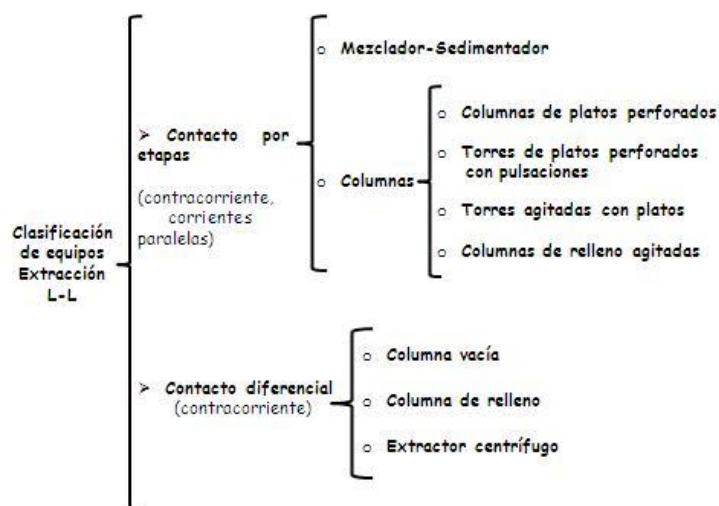


Figura 21. Clasificación de los equipos de extracción L-L en función del contacto entre fases.

## 7.2. Descripción de los equipos

A continuación se van a describir los principales equipos de extracción líquido-líquido que podemos encontrarnos en la industria, resaltando algunas de sus características más destacadas:

### 7.2.1. Mezclador-sedimentador

Un **mezclador-sedimentador** es un equipo de una etapa o de varias etapas (ver Figura 22) que está formado por dos partes: un **mezclador** para poner en contacto las dos corrientes líquidas y lograr la transferencia de materia del componente deseado de un líquido a otro y un **sedimentador** para la separación mecánica de ambas fases una vez alcanzado el equilibrio. La operación se suele hacer a contracorriente en lo que respecta a la entrada de la alimentación y del disolvente extractor. En el caso de los equipos formados por varias etapas, en cada una de ellas hay un conjunto formado por mezclador-sedimentador tal y como se observa en la Figura 22, y en algunos casos el líquido se suele bombear de una etapa a la siguiente.

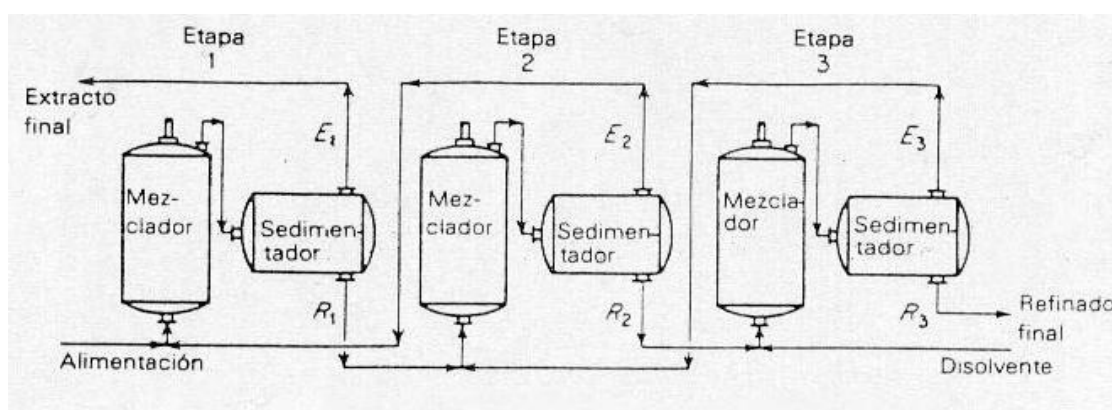


Figura 22. Equipo de mezclador-sedimentador formado por tres etapas a contracorriente.

A su vez, el conjunto mezclador-separador puede presentarse de dos formas:

- o Mezclador y sedimentador independientes (ver Figura 23): Operan en flujo continuo y a contracorriente. El mezclador es un recipiente de agitación con hélices o

turbinas a los que se añaden placas deflectoras (ver Figura 24), de forma vertical e instaladas perpendicularmente a la pared del tanque y que sirven para obtener una buena mezcla en el recipiente, reduciendo remolinos u otras turbulencias que puedan presentarse. El sedimentador suele ser un decantador continuo sencillo que opera por gravedad y que estará diseñado con unos materiales determinados en función de las sustancias que sedimentan.

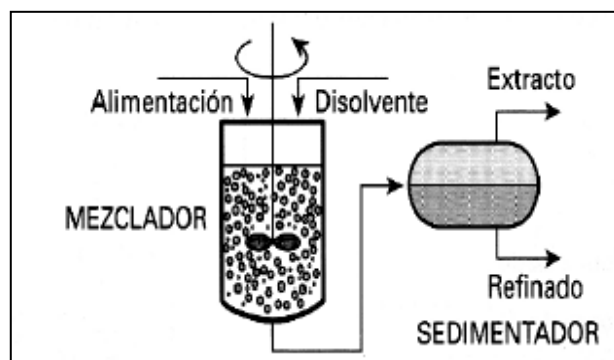


Figura 23. Esquema de un mezclador-sedimentador con ambos dispositivos separados.

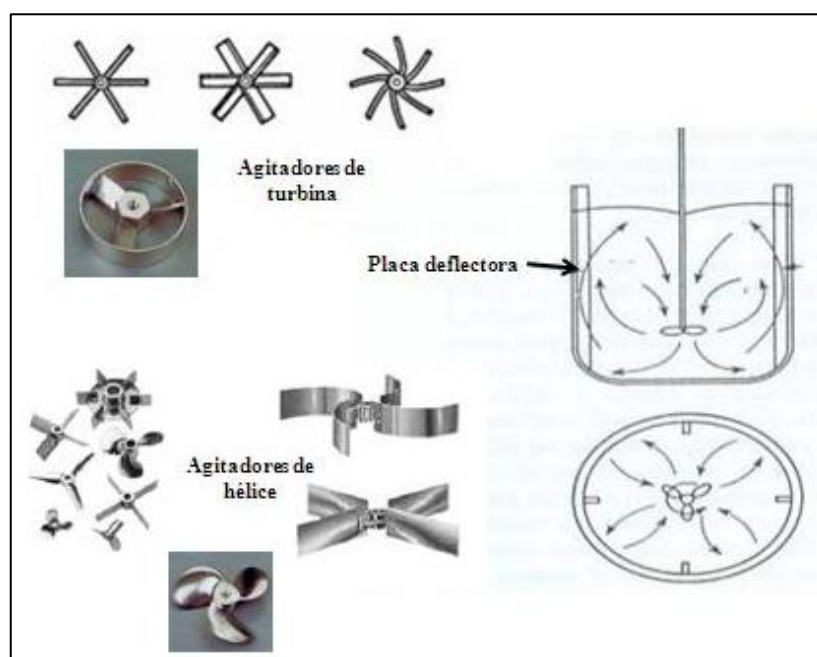
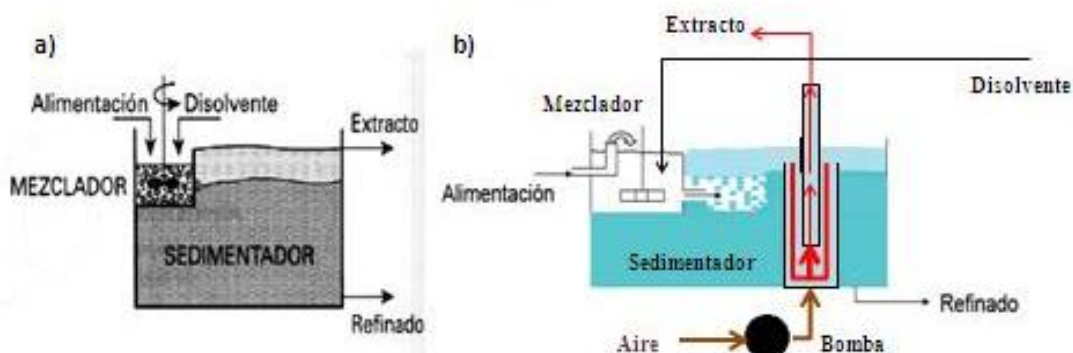


Figura 24. Los mezcladores suelen disponer de placas deflectoras para conseguir una buena mezcla, evitando turbulencias y como medio de agitación hélices o turbinas.

- Mezclador y sedimentador integrados (ver Figura 25): Operan en discontinuo o por lotes y a contracorriente en lo que respecta a la alimentación y al disolvente extractor. Ambas corrientes entran en el mezclador donde se produce la agitación, que en este caso suele ser también un tanque que contiene un agitador de hélice o turbina. Posteriormente, al terminar el ciclo de mezcla, se detiene la agitación y la mezcla sale por presión al sedimentador, donde se produce la sedimentación por gravedad, dando lugar a la separación de las dos capas por diferencia de densidades, como se puede observar en la Figura 25.a). Además, en algunos casos, el líquido menos denso, que en

este caso será el extracto (rico en disolvente extractor) rebosa por un tubo donde es impulsado por una tubería vertical con ayuda de aire comprimido bombeado con ayuda de una bomba externa o compresor, de manera que el extracto sale al exterior como se observa en la Figura 25.b). Por otra parte, el refinado al ser más denso en este caso, sale por la parte inferior.



**Figura 25.** Mezclador- sedimentador integrado convencional (a) y en algunos casos, el extracto es impulsado al exterior por medio de aire comprimido (b).

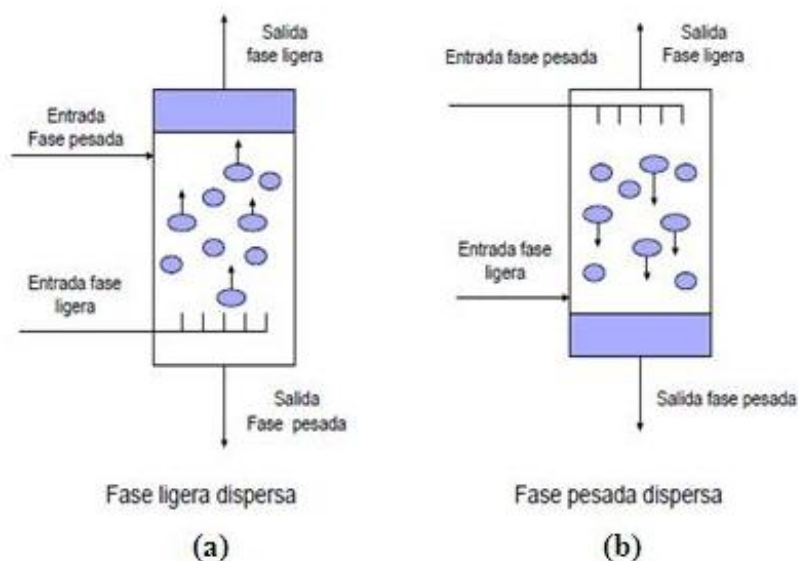
Los equipos de tipo mezclador-sedimentador se emplean de forma habitual en la industria petroquímica, química, metalurgia y en la producción de fertilizantes.

### 7.2.2. Columnas por etapas

En toda columna se hallan las siguientes fases:

- Fase continua: La fase que llena la columna o el plato.
- Fase dispersa: La fase que se halla en forma de gotitas dispersas.

El flujo es a contracorriente de tal manera que las corrientes de alimentación y de disolvente extractor se introducen en sentidos contrarios. Esto se establece gracias a las diferencias de densidades que hay entre ambos fluidos, lo cual tiene mucha relevancia de cara a establecer las entradas y salidas de la columna. La fase dispersa puede ser el líquido pesado o el líquido ligero, teniendo en cuenta que el líquido pesado entrará por la parte superior mientras que el líquido ligero entrará por la parte inferior, tal y como se observa en la siguiente figura:

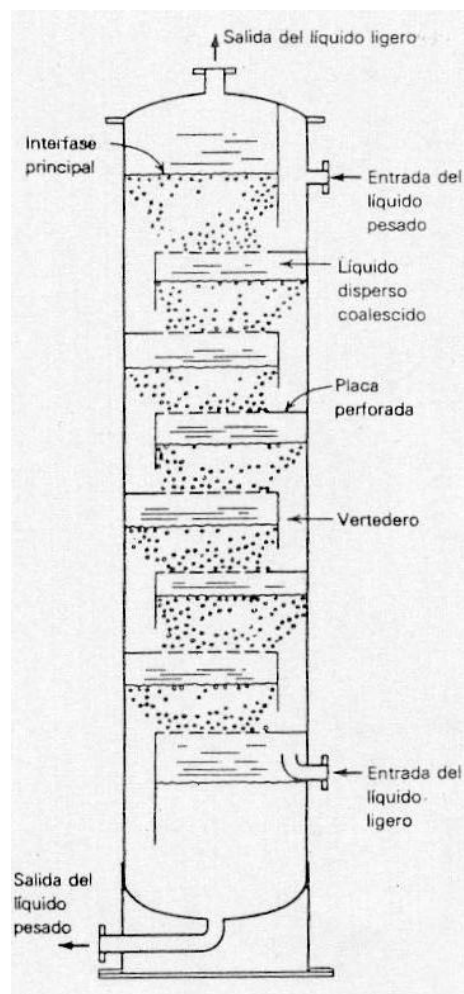


**Figura 26.** Disposición de las corrientes en columna en función de si la fase dispersa es la ligera (a) o la pesada (b).

Las columnas en extracción líquido-líquido pueden presentar rellenos o platos, los cuales sirven para conseguir un mejor contacto entre la alimentación y el disolvente extractor (una mayor superficie de contacto). En el caso de las columnas con platos, el contacto es por etapas, ya que las corrientes líquidas establecen contacto entre sí, favoreciendo la transferencia de materia del soluto de la alimentación al disolvente extractor, sedimentando en cada plato.

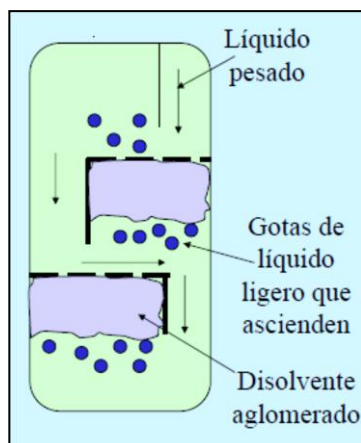
A continuación, vamos a comentar cada uno de los tipos de columnas por etapas que pueden darse en los procesos de extracción líquido-líquido:

- a) **Columnas de platos perforados:** También conocidas como columnas de bandejas ranuradas. En este equipo, el flujo es a contracorriente, se opera en continuo y el líquido ligero constituye la fase dispersa que entra por la parte inferior, mientras que el líquido pesado es la fase continua que entra por la parte superior como se observa en la siguiente figura:



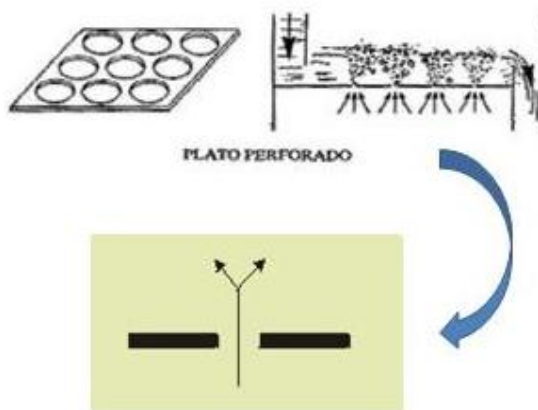
**Figura 27.** Columna de extracción de platos perforados para líquido ligero disperso.

El líquido ligero se dispersa en gotas que tienden a elevarse, de manera que las gotas dispersadas al llegar al plato, se acumulan debajo del mismo, para fluir posteriormente a través de las perforaciones del plato hasta establecer contacto con la fase continua del líquido pesado como se observa en la Figura 28. El líquido pesado en fase continua fluye horizontalmente por cada plato, estableciendo a su vez contacto con las gotas del líquido ligero disperso flotantes que pasan a través de las perforaciones. Es en este preciso momento cuando se produce la transferencia de materia al establecerse el contacto entre ambas corrientes. Después, el líquido pesado pasa al plato inferior por el tubo de descenso. Los platos sirven para eliminar totalmente la recirculación vertical de la fase continua.



**Figura 28.** Esquema del proceso de contacto entre la fase ligera dispersa y la fase pesada continua en la columna de platos perforados.

En la columna de platos perforados se pueden emplear distintos modelos de platos pero el funcionamiento en general es similar. Normalmente se hace uso de los platos perforados o cribados como se observa en la Figura 29, ya que su construcción es mucho más sencilla y económica, en la que sólo se requiere la perforación de pequeños agujeros en la bandeja.



**Figura 29.** Platos perforados o cribados de las columnas.

Las columnas de platos perforados se emplean de forma habitual en la industria petroquímica, química y alimentarias.

- b) **Torres de platos perforados con pulsaciones:** En este caso se trabaja en una columna con etapas a contracorriente, en continuo y con la fase dispersa en ambas. Consiste en una torre equipada con platos horizontales perforados que ocupan toda la sección transversal de la columna. No hay tubos descendentes como en las columnas de platos perforados vistas anteriormente. Se mejora la eficiencia con respecto al caso anterior. Aquí se utiliza una bomba de pistón o émbolo de movimiento alternativo para impulsar el movimiento de las corrientes líquidas (ver Figura 30), mejorando el contacto entre ambas.

Sin embargo, esta configuración presenta algunas desventajas tales como:

- El líquido corrosivo puede entrar en contacto directo con el pistón.



- Las pulsaciones demasiado rápidas pueden provocar cavitación, sobre todo en líquidos orgánicos volátiles ( $T^a$  Ebullición entre 20 y 65°C). La **cavitación** es un fenómeno indeseado que se origina cuando un líquido pasa a gran velocidad por el pistón que origina las pulsaciones, produciéndose una fuerte caída de presión en la succión, de manera que una parte del líquido pasa a fase vapor (la presión local se halla por debajo de la presión de vapor), formándose burbujas o cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión donde pasan a estado líquido de manera brusca, produciendo un arranque de material de la superficie en la que se origina este fenómeno. Por tanto, la cavitación es un fenómeno no deseado que puede llegar a deteriorar los equipos, a la vez que origina una pérdida del rendimiento.

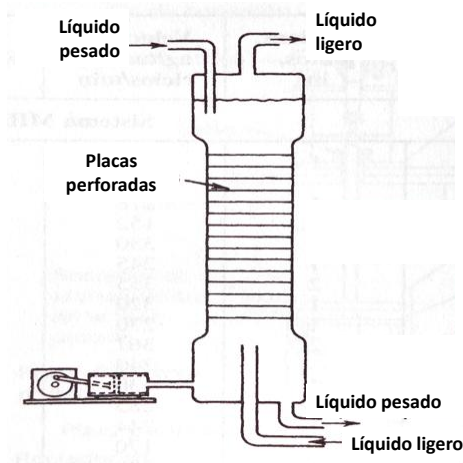


Figura 30. Torre de platos perforados con bomba pulsante.

El funcionamiento de este dispositivo consta de dos fases:

- Fase I (pulsación ascendente): El émbolo empuja al líquido ligero que entra por la parte inferior, que pasa las perforaciones y forma gotas que se elevan al plato superior. En este momento se pone en contacto con el líquido pesado que entra por la parte superior y sedimenta.
- Fase II (pulsación descendente): El émbolo succiona y el líquido pesado se comporta como el ligero en la fase I pero en sentido contrario, dispersándose hacia abajo y estableciendo contacto con el líquido ligero ascendente y sedimenta.

Las torres de platos perforados con pulsación se emplean de forma habitual en la industria petroquímica, nuclear y metalurgia.

- c) **Torres agitadas con platos**: A este equipo también se le conoce como el extractor de disco rotativo (RDC) y se trabaja en continuo, por etapas y a contracorriente, siendo el líquido pesado la fase continua y el líquido ligero la fase dispersa. Es una columna de platos con un rotor con discos giratorios (ver Figura 31). Estos discos provocan la mezcla y en los platos (anillos estatores) se produce la sedimentación. El líquido ligero entra por la parte inferior y sedimenta en la superficie inferior del plato, donde se redispersa después en la fase continua del líquido pesado, que entra por la parte superior hacia la zona de mezcla. Estos equipos presentan una

desventaja, debido a los problemas de mantenimiento de las partes móviles internas, especialmente cuando se trabaja con líquidos corrosivos. Además, el tamaño de las gotas la fase dispersa se controla por medio de la velocidad de rotación.

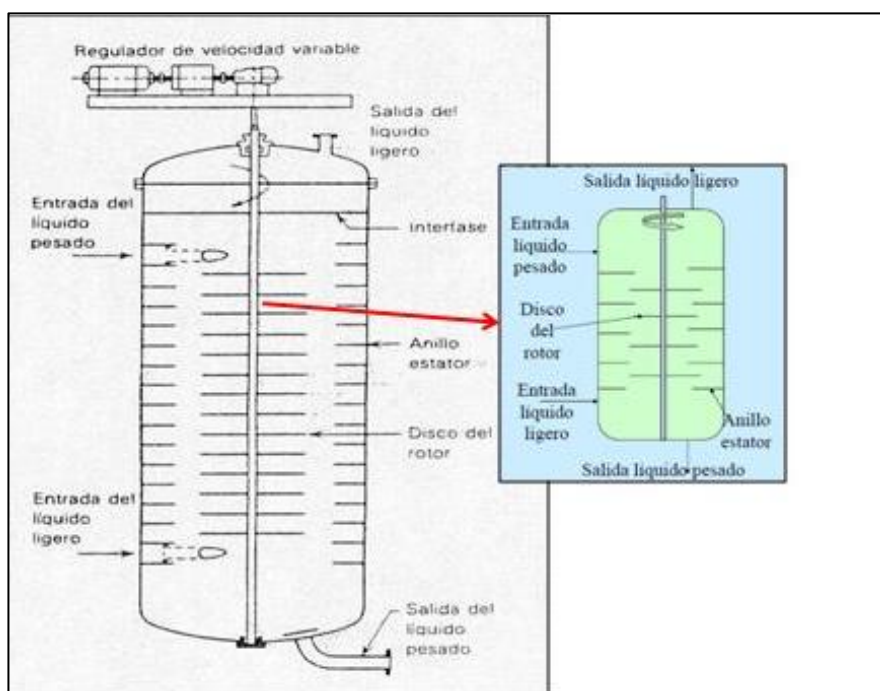


Figura 31. Torre agitada con platos (extractor de disco rotativo, RDC).

- d) **Columnas de relleno agitadas:** Este tipo de columnas también son conocidas como las columnas de York-Scheibel y trabajan en continuo, por etapas y a contracorriente. Además, esta columna es uno de los extractores más eficaces debido a la disposición interna de los deflectores horizontales que controlan el mezclado en las etapas (ver Figura 32). Estos equipos son muy apropiados para aquellas aplicaciones en las que se requieren un gran número de etapas.

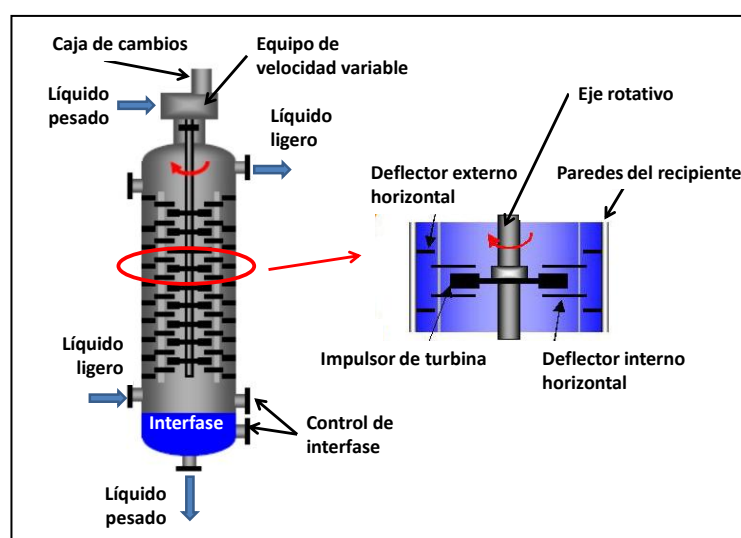


Figura 32. Columna de York- Scheibel

En la columna de York-Scheibel las regiones que rodean a los agitadores están empaquetadas con tela metálica (mallas tejidas) para favorecer la mezcla y separación de las fases. En la torre de Scheibel una serie de agitadores rotatorios de turbina forman dispersiones que se aglomeran o se fusionan para pasar a través de la malla tejida a la zona de sedimentación externa (ver Figura 33). Así la torre opera como una serie de unidades de extracción de mezclado y sedimentación. Entre relleno y relleno hay una zona de mezcla y una posterior separación de fases en el relleno, de tal manera que la fase ligera forma una capa en la zona inferior del relleno, dispersándose hacia arriba mientras que la fase líquida pesada va ocupando el relleno circulando hacia abajo.

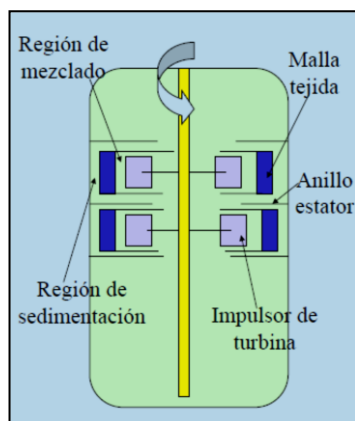
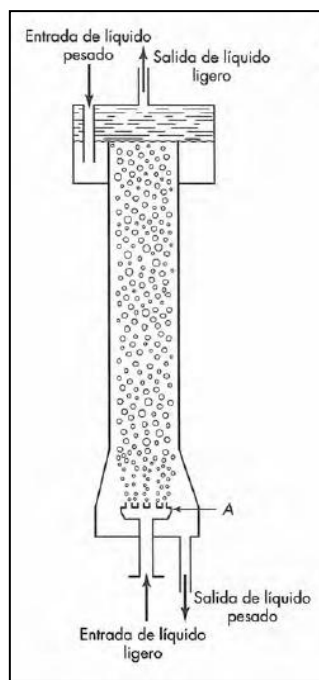


Figura 33. Esquema del proceso de mezclado-sedimentación de cada unidad de la columna de York- Scheibel.

### 7.2.3. Equipos por contacto diferencial

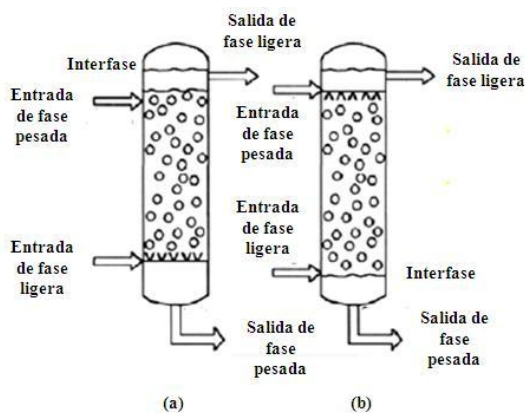
A continuación se van a describir algunos de los equipos por contacto diferencial que operan a contracorriente que más relevancia tienen a nivel industrial:

- Columna vacía (ver Figura 34): Son columnas con una fase continua y otra fase dispersa en gotas. La fase dispersa se suele introducir mediante boquillas, atomizadores o rociadores, de manera que este tipo de columnas también se conocen con el nombre de columnas de pulverización (spray) o rociado. Son sencillas y baratas pero proporcionan poca separación, por lo que no son muy usadas. El líquido más pesado se introduce por la parte superior y el más ligero por la inferior. A causa de la diferencia de densidades entre ambos líquidos, la salida de ambos será por los extremos opuestos, de manera que durante el recorrido se produce el contacto entre ambas y con ello la transferencia de materia del componente a extraer de la alimentación al disolvente extractor.



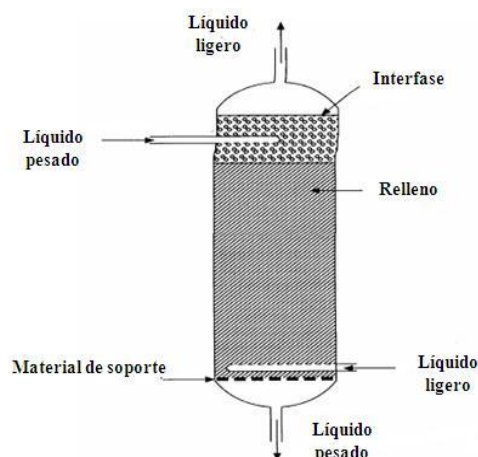
**Figura 34.** Columna vacía por contacto diferencial. La fase dispersa es en este caso el líquido ligero y es introducido a través de una boquilla de pulverización.

En este tipo de columnas, la fase ligera puede ser la dispersa (Figura 35.a) o la fase pesada la dispersa (Figura 35.b), mientras que la otra fase será la continua.



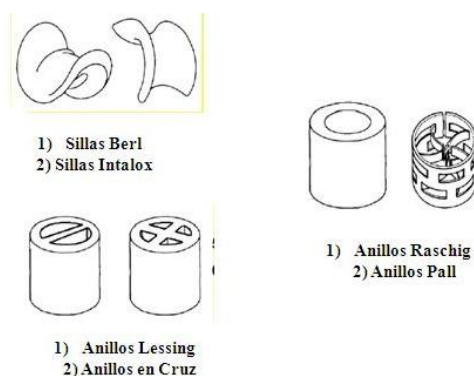
**Figura 35.** Columna vacía por contacto diferencial para el caso de la fase ligera dispersa (a) y para la fase pesada dispersa (b).

- Columna de relleno (ver Figura 36): También son conocidas como torres empaquetadas y se diferencian de las anteriores en que el interior de la columna está ocupado por un material de relleno, de tal manera que lo que se consigue es aumentar el contacto de las dos fases por aumento de la superficie de separación y prolongando el tiempo de esos contactos. Con los materiales de relleno, se distorsionan las gotas de la fase dispersa y se reduce la velocidad de circulación de la fase continua.



**Figura 36.** Columna de relleno por contacto diferencial a contracorriente.

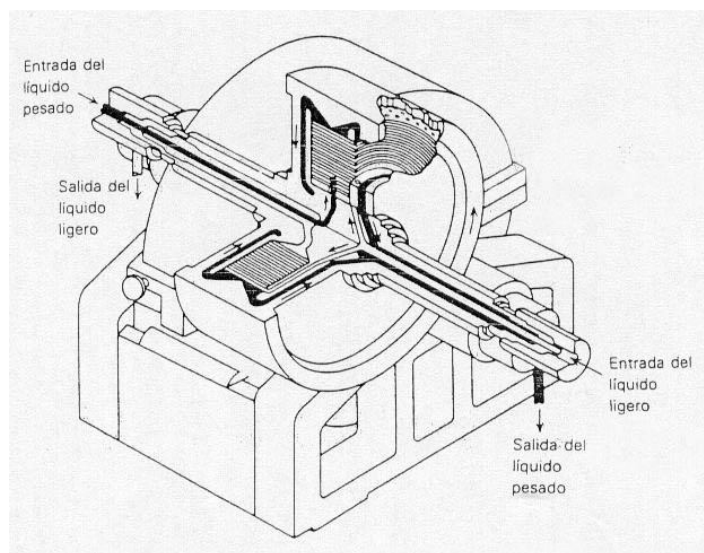
Los materiales que se emplean como relleno son variados, tales como virutas metálicas, trozos de carbón, materiales cerámicos o piezas especiales como anillos Raschig, monturas Berl o anillos Lessing como se observa en la siguiente figura:



**Figura 37.** Piezas especiales que se utilizan como relleno en la columna.

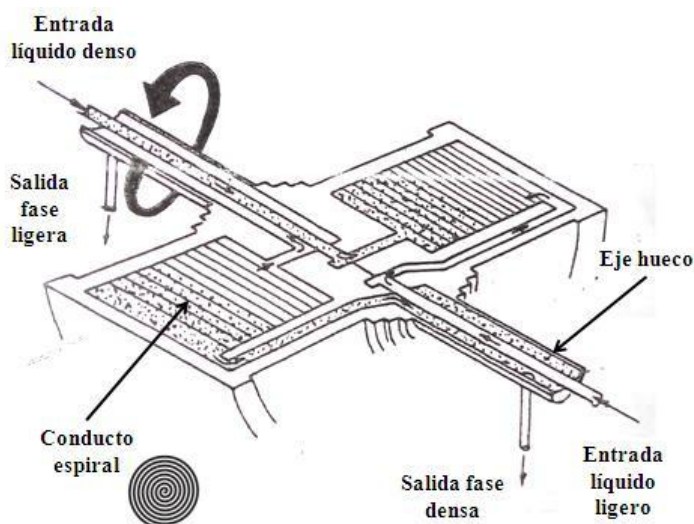
Este tipo de columnas presentan el inconveniente de que pasado un tiempo determinado debe procederse a la limpieza o renovación del material de relleno y de la placa que se emplea como soporte de este material en el fondo de la torre. Las columnas de relleno no son adecuadas para el tratamiento de líquidos que contengan partículas contaminantes o que tiendan a cristalizar. Los rellenos cerámicos dispuestos de forma aleatoria son resistentes a la corrosión.

- Extractor centrífugo: El más importante de estos es el extractor centrífugo de Podbielniak (ver Figura 38). Este equipo está basado en la aplicación de fuerzas centrífugas como una forma de aumentar notablemente el contacto de las fases sin que se produzcan emulsiones difíciles de eliminar. El extractor centrífugo de Podbielniak consiste en un cilindro hueco que gira a gran velocidad alrededor de un eje horizontal también hueco. El interior del cilindro está ocupado por un conducto espiral (caparazón concéntrico) metálico y con perforaciones.



**Figura 38.** Extractor centrífugo de Podbielniak.

El líquido pesado se introduce en la zona más próxima al eje de la espiral por uno de los extremos del eje hueco y se lleva al centro del cilindro. El líquido ligero penetra por el extremo opuesto y es conducido a la periferia (ver Figura 39). A causa de la fuerza centrífuga que se crea con el rápido giro del aparato, el líquido pesado fluye radialmente hacia la periferia, desplazando al ligero que a su vez se desplaza a la zona próxima al eje. Estos desplazamientos en direcciones opuestas originan el contacto íntimo entre ambas fases, ya que dicho contacto es posible gracias a la forma espiral del conducto y a las perforaciones u orificios presentes en el mismo. Las salidas del extracto y refinado son por los extremos opuestos del eje hueco.



**Figura 39.** Esquema de flujos del extractor centrífugo de Podbielniak.

Además, estos equipos se suelen hacer con materiales tipo acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión. Se suelen utilizar en la producción de artículos

farmacéuticos y se emplean cada vez más en otros campos: procesos petroquímicos, refinado de disolventes y tratamientos ácidos, recuperación de fenol en aguas residuales, trabajos de clarificación y separación de fases.

### 7.3. Ventajas e inconvenientes de algunos equipos de extracción

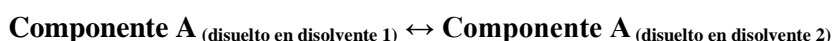
En la siguiente tabla se puede observar algunas ventajas e inconvenientes que presentan algunos de los equipos que se han comentado anteriormente:

**Tabla 1:** Ventajas e inconvenientes de los diferentes equipos de extracción.

Clase de Equipo	Ventajas	Inconvenientes
Mezcladores-sedimentadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buen contacto.</li> <li>○ Opera con amplias relaciones de flujo.</li> <li>○ Baja pérdida de carga.</li> <li>○ Buena separación.</li> <li>○ Disponibilidad de muchas etapas.</li> <li>○ Cambio de escala fiable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gran retención.</li> <li>○ Elevados costes energéticos.</li> <li>○ Inversión elevada.</li> <li>○ Gran espacio de suelo.</li> <li>○ Puede requerirse bombeo entre las fases.</li> </ul>
Equipos de contacto continuo con flujo en contracorriente (sin agitación mecánica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bajo coste inicial.</li> <li>○ Bajo coste de operación.</li> <li>○ Construcción sencilla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capacidad limitada para pequeñas diferencias de densidad.</li> <li>○ Alta pérdida de carga.</li> <li>○ A veces la separación es baja.</li> <li>○ Dificultad de cambio de escala.</li> </ul>
Equipos de contacto continuo con flujo en contracorriente (con agitación mecánica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buena dispersión.</li> <li>○ Coste razonable.</li> <li>○ Posibilidad de muchas etapas.</li> <li>○ Cambio de escala relativamente fácil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capacidad limitada para pequeñas diferencias de densidad.</li> <li>○ No puede operar con elevadas relaciones de flujo.</li> </ul>
Extractores centrífugos	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Opera con pequeñas diferencias de densidad entre las fases.</li> <li>○ Bajo volumen de retención.</li> <li>○ Corto tiempo de retención.</li> <li>○ Necesidad de poco espacio.</li> <li>○ Baja carga de disolvente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elevado coste inicial.</li> <li>○ Elevado coste de mantenimiento.</li> <li>○ Número limitado de etapas en una sola unidad.</li> </ul>

## 8. Variables que influyen en la proporción de soluto extraído

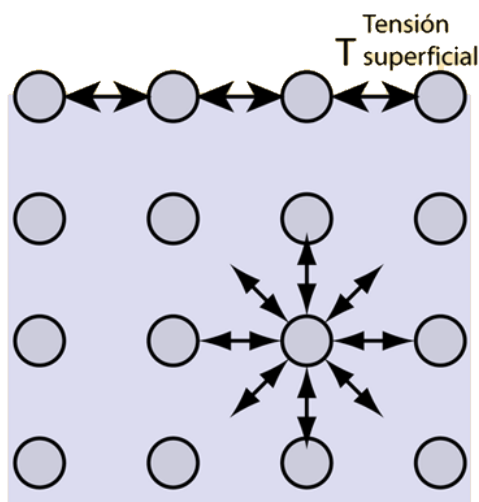
Como ya hemos comentado al principio del tema, la extracción líquido-líquido es la separación de un componente de una mezcla homogénea líquida (alimentación) por su contacto con un disolvente líquido inmiscible o parcialmente miscible, de tal manera que se origina una transferencia de materia de un soluto de una fase líquida a otra. Por ello, el proceso viene representado de la siguiente manera:



A su vez, el rendimiento de la extracción, es decir, la capacidad de obtener un mayor producto final extraído con el disolvente extractor puede verse afectado por una serie de variables tales como:

- Temperatura: Como ya se ha visto antes, la temperatura puede afectar a la miscibilidad de disolventes. De esta manera, no sabemos en qué grado favorecerá más la solubilidad y con ello el rendimiento del proceso. También podría afectar a la viscosidad de los líquidos.

- Proporción de soluto: También puede afectar a la miscibilidad, de manera que según esta concentración, los disolventes pueden ser inmiscibles, parcialmente miscibles o miscibles.
- Caudal de disolvente extractor: Al aumentar el caudal de disolvente extractor disminuye la concentración en el mismo, de manera que el equilibrio se desplaza en el sentido de la extracción, aumentando con ello el rendimiento.
- Agitación: Se favorece la velocidad de disolución por lo cual se aumenta el rendimiento. Igual que en extracción sólido-líquido. Sin embargo, también puede perjudicar la sedimentación si no se controla adecuadamente.
- Finura de las gotas dispersadas en la fase continua: Se aumenta la superficie de contacto al aumentar la finura, favoreciendo con ello el rendimiento. Igual que en la extracción sólido-líquido. Sin embargo, también puede perjudicar la sedimentación.
- Si hay presencia de reflujos, estos podrían afectar de la siguiente manera:
  - Reflujo del extracto: Al aumentar el reflujo, el extracto se hace más concentrado, ya que el extracto se pone en contacto con mayor cantidad de producto extraído.
  - Reflujo del refinado: Aumentará la proporción del componente principal del refinado.
- Tensión superficial del líquido: Hay que recordar que la **tensión superficial** es la tensión que presenta un líquido en su superficie o dicho de otro modo, es la fuerza que actúa tangencialmente por unidad de longitud en el borde de una superficie libre de un líquido en equilibrio y que tiende a contraer dicha superficie como se observa en la siguiente figura:



**Figura 40.** Fenómeno de la tensión superficial en la superficie de un líquido.

Como se observa en la Figura 40, las fuerzas intermoleculares que hay entre las partículas dentro de un líquido, están compartidas con todas las partículas vecinas. Las de la superficie, no tienen partículas por encima y presentan fuerzas atractivas más fuertes sobre sus vecinas próximas de la superficie. Esta mejora de las fuerzas de atracción intermoleculares en la superficie, se llama tensión superficial.

El aumento de tensión superficial perjudica el contacto entre líquidos, de manera que al ser baja se favorece la extracción ya que permite la mezcla entre disolventes. Sin embargo, si la tensión superficial es muy baja, esto puede perjudicar la separación entre fases, pudiendo crear



en algunos casos emulsiones muy estables (mezclas de dos o más líquidos inmiscibles entre sí de manera más o menos homogénea) al no poder separarse las fases en mucho tiempo.

- Diferencia de densidades: La diferencia de densidades entre fases favorece la sedimentación pero no influye en la extracción.

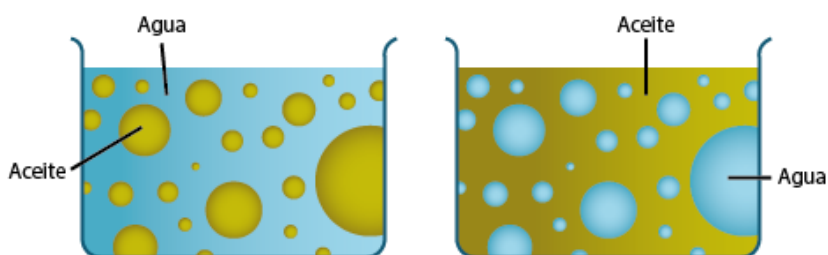
## 9. Problemas que pueden surgir en los equipos

Durante los procesos de extracción líquido-líquido pueden surgir algunos problemas que pueden afectar a la eficacia de la separación, tales como:

- Inundación en columnas: Como ya hemos visto anteriormente, en toda columna hay dos fases: la continua y la dispersa. En el caso de la fase dispersa, las gotas pueden unirse llegando a formar capas continuas, de tal manera que esto contribuye a disminuir la eficiencia del contacto y con ello la transferencia de materia.

Las variables que pueden influir en el origen de las inundaciones son las velocidades de circulación de ambas fases que pueden provocar una mayor retención de las gotas favoreciendo su unión. Estas velocidades de circulación van asociadas a los caudales ( $Q=v*S$ , siendo  $Q$  caudal en  $m^3/s$ ,  $v$  velocidad en  $m/s$  y  $S$  sección en  $m^2$ ). Por tanto, cada sistema tiene unos caudales máximos para las fases continuas y dispersas, por encima de los cuales se produce la inundación. De esta manera, si el flujo de la fase dispersa o de la fase continua se mantiene constante y el de la otra fase se incrementa gradualmente, se alcanza un punto donde la fase dispersa se acumula, de manera que la cantidad retenida de esa fase se incrementa, produciéndose con ello la inundación de la columna. Finalmente ambas fases acaban saliendo por la salida de la fase continua.

- Formación de emulsiones: La mezcla de líquidos que salen de cualquier aparato de mezclado suelen constituir una emulsión. La emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido que se haya en forma de gotitas (la fase dispersa) es dispersado en otro (la fase continua o fase dispersante) como se observa en la siguiente figura para el caso de aceite y agua:



**Figura 41.** Emulsiones de dos líquidos inmiscibles: aceite en agua (izda.) y agua en aceite (dcha.).

La estabilidad o permanencia de la emulsión es de máxima importancia para la extracción líquida, puesto que es necesaria para separar las fases en cada etapa de extracción. Las emulsiones estables, es decir, aquellas que no se sedimentan ni coalescen rápidamente, deben evitarse. Para que una emulsión se “rompa”, o para que sus fases se separen por completo, debe suceder tanto la sedimentación como la coalescencia de la fase dispersa como se observa en la siguiente figura:



**Figura 42.** Las gotas de la fase dispersa sedimentan para después unirse o coalescer, permitiendo de esa manera la separación de las dos fases líquidas.

La rapidez de sedimentación de una emulsión en reposo es mayor, si es grande el tamaño de las gotas, grande la diferencia de densidad entre los líquidos y pequeña la viscosidad de la fase continua. Las emulsiones estables (no deseadas) son aquellas que se sedimentan sólo después de grandes períodos y se forman generalmente cuando el diámetro de las gotas dispersas es muy reducido (del orden de 1 a 1,5  $\mu\text{m}$ ). Por otra parte, las dispersiones con diámetro de partícula de 1 mm o mayor se sedimentan generalmente con rapidez.

La coalescencia de las gotas sedimentadas es tanto más rápida cuanto mayor es la tensión interfacial (que así es como se denomina a la tensión superficial cuando ambas fases son líquidas). En general, la tensión interfacial es baja para los líquidos que son muy solubles entre sí (muy miscibles). Además, la viscosidad elevada de la fase continua impide la coalescencia al reducir la rapidez con la que se separa la película residual que hay entre las gotas. Además, las partículas de polvo que generalmente se acumulan en la interfase entre los líquidos también impiden la coalescencia.

En el caso de la emulsión inestable, la mezcla se sedimenta y coalesce rápidamente en dos fases líquidas después de que la agitación se haya detenido, a menos que la viscosidad sea alta en la fase continua.

En definitiva, en los procesos de extracción líquido-líquido pueden darse dos tipos de emulsiones:

- Emulsiones estables (no deseadas) que no sedimentan ni coalescen (la coalescencia es la unión de gotas para dar otras de mayor tamaño) con rapidez. Las gotas de 1-1,5  $\mu\text{m}$ . Pueden deberse a líquidos con baja tensión interfacial, alta viscosidad de la fase continua y presencia de polvo.
- Emulsiones inestables (deseadas) que sedimentan y coalescen con rapidez. Las gotas de 1 mm o más. Viscosidad de la fase continua moderada o baja, mayor tensión interfacial en las fases líquida, sin presencia de otras partículas o polvo.

Por ello, para evitar la presencia de emulsiones estables, se puede hacer lo siguiente:

- Controlar de la agitación en aquellos sistemas en los que se emplea para favorecer el contacto con fases

- En la elección del disolvente extractor, la tensión superficial debe ser moderada: baja para permitir el contacto entre fases pero no demasiado baja para evitar las emulsiones estables.
- A la hora de seleccionar el disolvente, elegir aquellos que presenten una viscosidad baja.
- Evitar la presencia de partículas de polvo en el proceso con un adecuado mantenimiento.

## 10. Bibliografía recomendada

- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2001). En Extracción líquido-líquido Operaciones y equipos, *Manual del ingeniero químico* (pp.15/4-15/57). Volumen III. Madrid [etc.]: McGraw-Hill, 2001, Séptima edición.

*{Muy recomendable de cara profundizar en la descripción de los equipos de extracción líquido-líquido}*

- Skoog, D. A., West, D. M., & Holler, F. J. (1998). En Separaciones analíticas por extracción e intercambio de iones, *Química analítica* (pp. 481-489). México [etc.]: McGraw-Hill, imp. 1998, Sexta edición.

*{Aquí se explica con más detalle el concepto de coeficiente de reparto en la extracción líquido-líquido, la extracción simple y múltiple para las fases acuosa y orgánica, así como algunas aplicaciones de la extracción}*

- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). En Lixiviación y extracción, *Operaciones unitarias en ingeniería química* (pp. 799-832). México D. F.: McGraw-Hill Interamericana, cop. 2007, Séptima edición.

*{Este libro presenta mayor complejidad en comparación con el Perry pero también se puede encontrar información acerca de los equipos de extracción líquido-líquido (pp.808-815)}*

- Ocón García, J., & Tojo Barreiro, G. (1980). En Extracción Líquido-Líquido, *Problemas de ingeniería química: operaciones básicas* (pp. 111-207). Madrid: Aguilar, 1980.

*{Aquí se pueden encontrar algunos problemas de diagramas triangulares para extracción líquido-líquido tanto en una etapa como en varias}*

- Treyball, Robert E. (1980). En Extracción Líquida, *Operaciones de transferencia de masa* (pp. 529-621). México [etc.]: McGraw-Hill, 1980, Segunda edición.

*{Aquí se explica de forma más detallada y amplia los diagramas de triángulo equilátero con problemas de aplicación, así como algunos de los equipos que se han comentado anteriormente (mezclador-sedimentador,...) y los fenómenos de emulsiones en la extracción líquida}*

## Anexo III: Presentación del tema de extracción líquido-líquido:



### EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO

Módulo Formativo de Operaciones Básicas  
en la Industria Química  
Unidad de Trabajo 8. Extracción

#### Índice

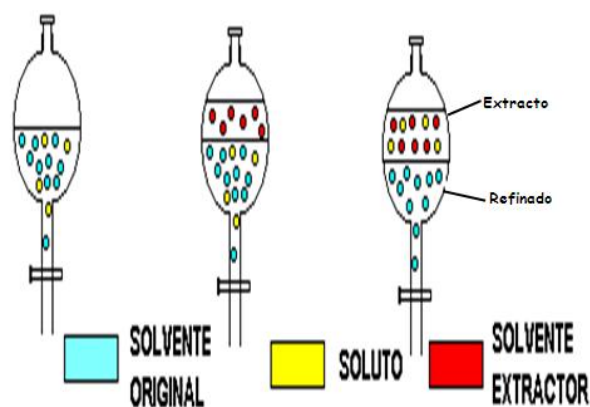
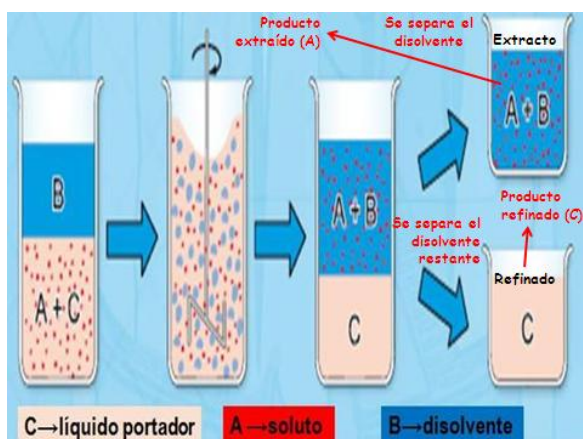
1. Breve introducción
2. Concepto de Extracción L-L
3. Características del disolvente extractor
4. Etapas del proceso
5. Algunas aplicaciones de extracción L-L
6. Equilibrio. Coeficiente de reparto
7. Sistemas ternarios. Diagrama triangular. Cálculo e interpretación
8. Métodos de extracción L-L
9. Clasificación y descripción de equipos
10. Variables que influyen en el proceso
11. Problemas en los equipos

### 1. Breve introducción

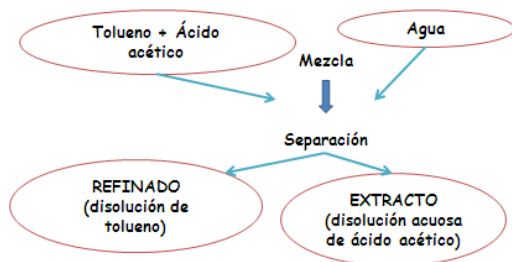
- En las operaciones básicas de **separación de componentes en mezclas homogéneas**, se genera una **transferencia de materia** de una fase a otra.
- La **transferencia de materia** consiste en que uno o varios componentes que están en una fase se transfieren a otra fase hasta alcanzar el **equilibrio**.
- Antes se ha visto la **extracción** como la **separación de componentes de mezclas (sólidas o líquidas)** por la disolución de uno de ellos en un **disolvente líquido**.
- La disolución formada por el disolvente utilizado y el componente extraído o separado se le denomina **extracto**.
- La mezcla de la que se ha eliminado el componente extraído constituye el **refinado**.

### 2. Concepto de Extracción L-L

- La **extracción líquido-líquido**, también conocida como **extracción con disolventes**, se separa un componente de una mezcla homogénea líquida (**alimentación**) por su contacto con un **disolvente líquido inmiscible o parcialmente miscible** con la anterior. Por tanto, es una **transferencia de materia** del componente deseado de una fase líquida a otra líquida.
- **Pocos líquidos totalmente inmiscibles**, de manera que **habrán líquidos parcialmente miscibles**.
- La forma más sencilla es la de un **sistema ternario** compuesto por:
  - **Soluto**, que es el que nos interesa separar y el minoritario en la alimentación.
  - **Diluyente o portador («carrier»)**, el que acompaña al soluto en la mezcla inicial siendo mayoritario en la misma.
  - **Disolvente (extractor)**, el líquido que añadimos a la mezcla inicial para extraer el soluto.
- Al final de la extracción **dos fases líquidas**: el **extracto (rico en disolvente extractor con buena parte del soluto que se desea extraer)** y el **refinado (rico en el diluyente con una pequeña parte de disolvente extractor)**.



**Ejemplo. Eliminación del ácido acético disuelto en tolueno por su disolución en el disolvente agua.**



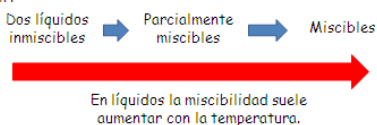
**Ejemplos de sistemas ternarios (soluto/diluyente + disolvente extractor)**

Consulta de fichas de seguridad: [www.insht.es](http://www.insht.es)

Soluto	Diluyente	Disolvente extractor
Acetona	Agua	Benceno
Ácido acético	Agua	Tolueno
Etanol	Agua	Ciclohexano
Ácido oleico	Aceite de semilla de algodón	Propano
Ácido acético	Agua	Cloroformo
Anilina	Agua	Nitrobenceno
Estireno	Etilbenceno	Etilén glicol
Etanol	Glicerol	Benceno
Etilén glicol	Agua	Furfural

**3. Características del disolvente extractor**

- > El soluto a extraer debe ser **muy soluble** en el disolvente extractor **SELECTIVO!!!**
- > El disolvente extractor debe ser **inmiscible** con el de la alimentación (el diluyente).  
Pocos líquidos totalmente inmiscibles, de manera que existen los líquidos **parcialmente miscibles**, que en este caso se forman **dos capas líquidas** de forma que en cada una de ellas hay un **disolvente en mayor proporción** y otro en **menor proporción** (el **extracto** es rico en el disolvente extractor y el **refinado** en el diluyente). La miscibilidad depende de la **temperatura** y de la **concentración de soluto** a transferir.



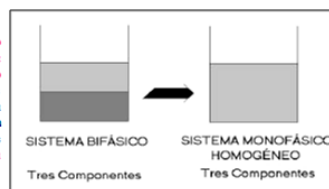
**3. Características del disolvente extractor**

La miscibilidad depende de la **concentración de soluto a transferir**.

Ejemplo: Sistema de 3 componentes (agua, triclorometano y ácido acético).

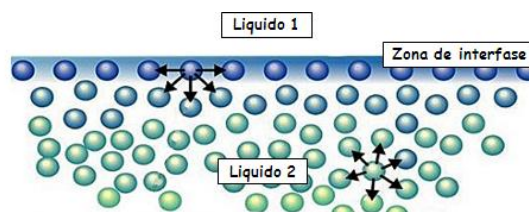
- > Agua y triclorometano son **inmiscibles**, mezcla **bifásica**.
- > **Ácido acético** es soluble en ambas especies y se halla en las dos fases.

Conforme vamos **añadiendo ácido acético**, ambas fases son **+ concentradas** en dicho componente, de manera que las moléculas tanto de agua como triclorometano están cada vez más rodeadas de ácido. **Se pasa de una bifase a una única fase.**



**3. Características del disolvente extractor**

- > **Recuperable.**
- > **Densidad:** Necesaria una **diferencia de densidades** de las fases líquidas en equilibrio para favorecer la separación.
- > El disolvente debe ser **estable e inerte** frente al resto de componentes del sistema y frente a los materiales más comunes de construcción.
- > **Viscosidad, presión de vapor y punto de congelación** bajos para el manejo y el almacenamiento.
- > **No tóxico.**
- > **No inflamable.**
- > **Bajo coste y de fácil acceso.**
- > **Tensión superficial (tensión interfacial entre dos líquidos) moderada** para evitar la fuerte dispersión entre las fases que se forman, dando lugar a emulsiones y espumas, que en ocasiones pueden ser **muy estables**.



> La **tensión interfacial muy alta** (líquidos muy **inmiscibles**) impide la mezcla de disolventes. Se requiere por ello una buena agitación.

> La **tensión interfacial muy baja** perjudica la separación de fases, generando unas emulsiones estables.

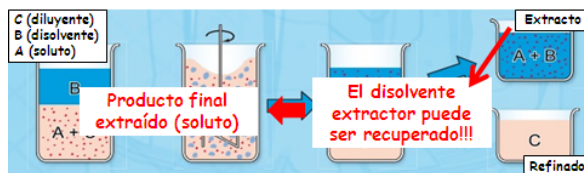
### 4. Etapas del proceso

Las mismas etapas que en la extracción sólido-líquido:

> **Mezcla o contacto** de la alimentación líquida con el disolvente extractor hasta alcanzar el equilibrio entre las dos fases tras producirse la transferencia de materia del soluto al disolvente extractor. El equilibrio es el siguiente:

**Soluto** (diluyente o disolvente de alimentación) ↔ **Soluto** (disolvente extractor)

> La **separación física** (por decantación o por centrifugación) de las dos fases: **extracto** (rica en disolvente extractor y soluto a extraer) y el **refinado** (rica en diluyente), inmiscibles y separadas por diferencia de densidades.



### 5. Algunas aplicaciones de extracción L-L

> A nivel industrial se usa para **separar el producto deseado de forma selectiva** de una mezcla líquida y en procesos de purificación.

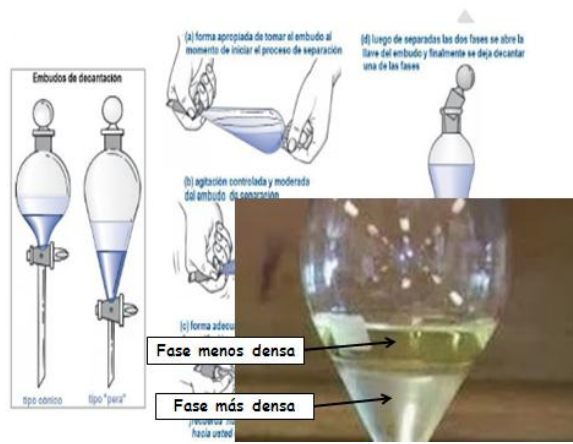
> De manera general se utiliza en:

- o Separación de líquidos con puntos de ebullición próximos.
- o Separación de mezclas que forman azeótropos.
- o Separación de sustancias sensibles al calor.
- o Alternativa a los procesos de destilación, evaporación y cristalización.

### 5. Algunas aplicaciones de extracción L-L

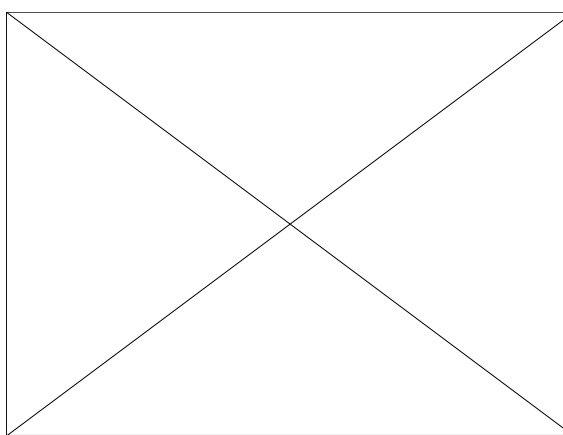
> Algunas aplicaciones industriales podrían ser las siguientes:

- o Extracción de **compuestos aromáticos y nafténicos** para la producción de aceites lubricantes.
- o Separación de aromáticos (Benceno, Tolueno, Xilenos) de las parafinas con tetrametileno sulfona.
- o Separación de metales pesados (Ni, Cu, Zn,...) de efluentes acuosos con ácidos o aminas.
- o Recuperación de Uranio.
- o Extracción de Proteínas
- o Separación de penicilina en disolución acuosa añadiendo acetato de butilo.
- o Obtención de aceites esenciales (procesos de lavados de aceites).

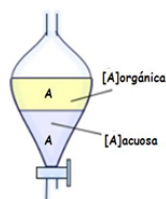


## EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO CON EMBUDO DE DECANTACIÓN

<https://www.youtube.com/watch?v=HmjKQh6cKs8>



### 6. Equilibrio. Coeficiente de reparto.



- En extracción L-L suele haber una fase orgánica y una fase acuosa.
- El soluto A se reparte en dos fases inmiscibles y se origina un equilibrio gobernado por la Ley de Distribución. Según esta ley, el soluto A se reparte entre la fase acuosa y la fase orgánica dando lugar al equilibrio:

$$K = \frac{[A]_{orgánica}}{[A]_{acuosa}} \quad A_{acuosa} \leftrightarrow A_{orgánica}$$

K se conoce como **coeficiente de reparto o de distribución**. Es una constante de equilibrio que depende de la Tª de operación, del disolvente extractor empleado y de la composición de la mezcla

### EJEMPLO

Se dispone de 1000 cm<sup>3</sup> de agua que contienen 5 g de yodo. Se añaden 250 cm<sup>3</sup> de CCl<sub>4</sub>, se agita bien la mezcla para que se alcance el equilibrio y se deja reposar. Calcúlese la cantidad de yodo que existe entonces en cada una de las fases (acuosa y la orgánica de CCl<sub>4</sub>). El coeficiente de reparto del yodo entre el CCl<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O vale 85.

$$K = \frac{[I_2]_{CCl_4}}{[I_2]_{H_2O}} = 85$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [I_2]_{H_2O} = \frac{5-x}{1000} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \\ [I_2]_{CCl_4} = \frac{x}{250} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \end{array} \right.$$

↓ x = masa de I<sub>2</sub> en la fase orgánica

$$\frac{\frac{x}{250}}{\frac{5-x}{1000}} = 85$$

➔ Fase acuosa: m(I<sub>2</sub>) = 5-x = 0,225 g  
Fase orgánica: m(I<sub>2</sub>) = x = 4,775 g

$$\text{Rendimiento (\%)} = 100 * \left( \frac{\text{cantidad soluto extraído}}{\text{cantidad soluto inicio}} \right)$$

(% de soluto extraído)

$$\text{Rendimiento (\%)} = 100 * \left( \frac{4,775 \text{ g}}{5 \text{ g}} \right) = 95,5 \%$$

$$I_2 \text{ restante (\%)} = 100 * \left( \frac{0,225 \text{ g}}{5 \text{ g}} \right) = 4,5 \%$$

### EJERCICIO

Una disolución contiene 40 mg de ácido subérico en 50 ml de agua. ¿Qué cantidad de ácido subérico podría separarse mediante una extracción con 50 ml de éter? ¿Cuánta cantidad quedaría en la fase acuosa? Coeficiente de reparto entre el éter y el agua es 4,0. (Problema 1.1 de la hoja)

### Solución:

$$\frac{\frac{x}{50}}{\frac{40-x}{50}} = 4,0 \quad \left\{ \begin{array}{l} [C_8H_{14}O_4]_{agua} = \frac{40-x}{50} \left( \frac{g}{ml} \right) \\ [C_8H_{14}O_4]_{éter} = \frac{x}{50} \left( \frac{g}{ml} \right) \end{array} \right.$$

↓ x = mg de ácido subérico que pasan a la fase orgánica

$$\frac{x}{50} = 4,0 * \frac{40-x}{50} \quad \rightarrow \quad x = 32 \text{ mg de ácido subérico.}$$

m(C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>)<sub>ÉTER</sub> = x = 32 mg  
m(C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>)<sub>ACUOSA</sub> = 40-x = 8 mg

$$\text{Rendimiento (\%)} = 100 * \left( \frac{32 \text{ mg}}{40 \text{ mg}} \right) = 80 \%$$

### 6. Equilibrio. Coeficiente de reparto.

- Teniendo en cuenta el extracto (E) y refinado (R), el coeficiente de distribución o de reparto de un componente i entre las dos fases líquidas en equilibrio será lo siguiente:

$$K_i = \frac{[i]_E}{[i]_R}$$

- El coeficiente de reparto depende del disolvente extractor empleado, de la composición de la mezcla y de la temperatura de operación.

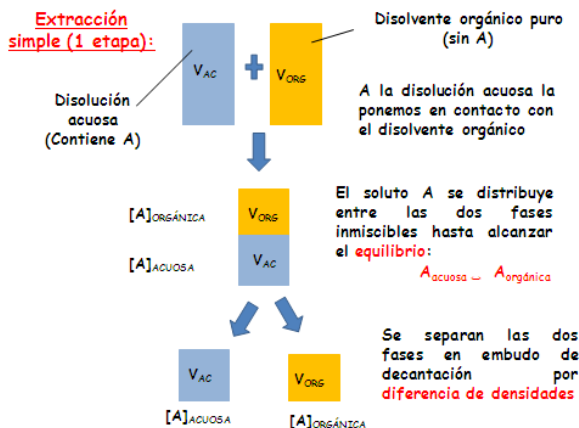
**Extracción líquida a nivel de laboratorio**

○ **Extracción simple:**

➢ Se utiliza el disolvente extractor en **una sola etapa** de extracción.

$$A_{acuosa} \rightleftharpoons A_{orgánica}$$

$$K = \frac{[A]_{orgánica}}{[A]_{acuosa}}$$



○ **Extracción simple:**

$$K = \frac{[A]_{orgánica}}{[A]_{acuosa}}$$

↓

$$x = \frac{V_{org} * K * n}{V_{ac} + V_{org} * K}$$

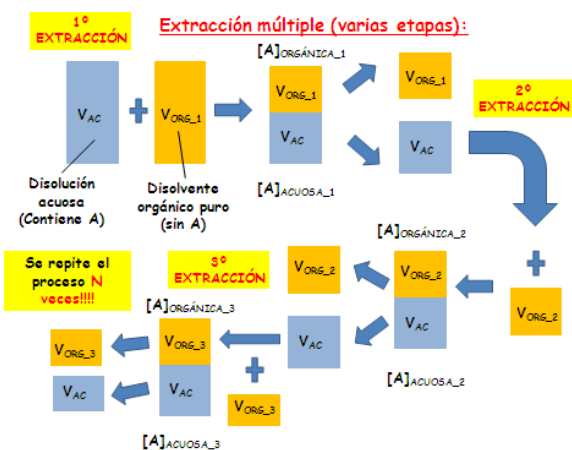
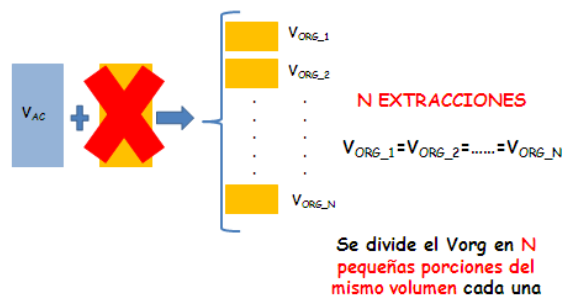
$$[A]_{acuosa} = \frac{n - x}{V_{ac}}$$

$$[A]_{orgánica} = \frac{x}{V_{org}}$$

n = moles iniciales de soluto A en fase acuosa  
 x = moles de A extraídos en fase orgánica.  
 V<sub>ac</sub> = Volumen en fase acuosa  
 V<sub>org</sub> = Volumen en fase orgánica

○ **Extracción múltiple:**

➢ La extracción se lleva a cabo en varias etapas.



○ **Extracción múltiple:**

➢ Se mejora de la eficiencia con la extracción múltiple, ya que al dividir el V<sub>org</sub> en pequeñas porciones, la [A]<sub>acuosa</sub> va disminuyendo tras cada extracción:

$$[A]_{acuosa_1} > [A]_{acuosa_2} > [A]_{acuosa_3} > \dots > [A]_{acuosa_N}$$

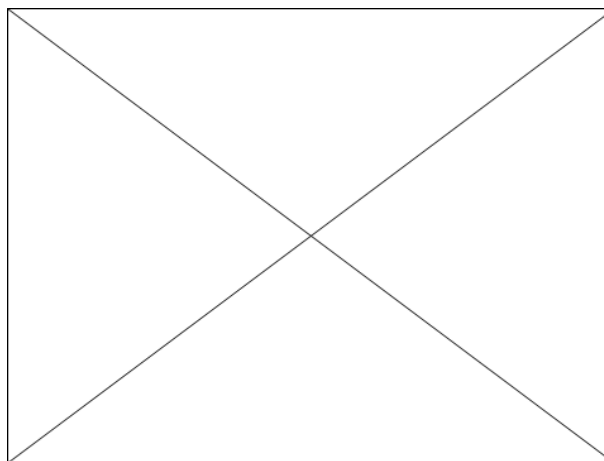
➔

Al aumentar N, la va [A]<sub>acuosa</sub> va disminuyendo



## EXTRACCIÓN MÚLTIPLE CON EMBUDO DE DECANTACIÓN

<https://www.youtube.com/watch?v=Q3QxStCFDUo>



### ○ Extracción múltiple:

$$[A]_{acN} = [A]_{ac0} \cdot \left[ \frac{V_{ac}}{V_{ac} + V_{org} \cdot K} \right]^n$$

$[A]_{acN}$  = Concentración de soluto A en fase acuosa en la extracción N.

$[A]_{ac0}$  = Concentración de soluto A en fase acuosa al inicio.

$V_{ac}$  = Volumen de fase acuosa.

$V_{org}$  = Volumen de disolvente orgánico para cada extracción.

$K$  = Constante de reparto.

$n$  = Número de extracciones.

### ○ Extracción múltiple:

$$[A]_{acN} = [A]_{ac0} \cdot \left[ \frac{V_{ac}}{V_{ac} + V_{org} \cdot K} \right]^n \quad \text{En unidades de concentración}$$

$$n_A = [A] \cdot V_{ac}$$

$$(n_A)_{acN} = (n_A)_{ac0} \cdot \left[ \frac{V_{ac}}{V_{ac} + V_{org} \cdot K} \right]^n \quad \text{En unidades de cantidad de sustancia}$$

$$m_A = n_A \cdot M_A, \text{ donde } M_A \text{ es peso molecular de A}$$

$$(m_A)_{acN} = (m_A)_{ac0} \cdot \left[ \frac{V_{ac}}{V_{ac} + V_{org} \cdot K} \right]^n \quad \text{En unidades de masa}$$

## EJERCICIO I

El coeficiente de distribución para X entre n-hexano y agua es 9,6. Calcúlese la concentración de X que queda en la fase acuosa después de que 50,0 ml de X 0,150 M se han tratado por extracción con las siguientes cantidades de n-hexano: a) una porción de 40,0 ml, b) dos porciones de 20,0 ml, c) cuatro porciones de 10,0 ml y d) ocho porciones de 5,00 ml. (Problema 1.2 de la Hoja de Problemas).

## Solución:

$$[X]_{ac1} = 0,150 \text{ M} \cdot \left[ \frac{50}{50 + 40 \cdot 9,6} \right]^1 = 1,73 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$[X]_{ac2} = 0,150 \text{ M} \cdot \left[ \frac{50}{50 + 20 \cdot 9,6} \right]^2 = 6,4 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[X]_{ac4} = 0,150 \text{ M} \cdot \left[ \frac{50}{50 + 10 \cdot 9,6} \right]^4 = 2,06 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[X]_{ac8} = 0,150 \text{ M} \cdot \left[ \frac{50}{50 + 5 \cdot 9,6} \right]^8 = 6,89 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left( \frac{\text{Cantidad X extraído}}{\text{Cantidad X al inicio}} \right) * 100$$

$$\text{Rto}_1 = \left( \frac{0.150 \text{ M} - 1.73 \times 10^{-2} \text{ M}}{0.150 \text{ M}} \right) * 100 = 88,50\%$$

$$\text{Rto}_2 = \left( \frac{0.150 \text{ M} - 6.4 \times 10^{-3} \text{ M}}{0.150 \text{ M}} \right) * 100 = 95,73\%$$

$$\text{Rto}_4 = \left( \frac{0.150 \text{ M} - 2.06 \times 10^{-3} \text{ M}}{0.150 \text{ M}} \right) * 100 = 98,63\%$$

$$\text{Rto}_8 = \left( \frac{0.150 \text{ M} - 6.89 \times 10^{-4} \text{ M}}{0.150 \text{ M}} \right) * 100 = 99,54\%$$

## EJERCICIO II

El coeficiente de distribución para Z entre n-hexano y agua es 6,25. Calcúlese el porcentaje de Z que queda en 25 ml de agua que originalmente 0,060 M en Z, después de la extracción con los siguientes volúmenes de n-hexano: a) una porción de 25,0 ml, b) dos porciones de 12,5 ml, c) cinco porciones de 5,00 ml y d) diez porciones de 2,50 ml. (Problema 1.3 de la Hoja de Problemas).

### Solución:

1) Se hallan las concentraciones finales:

$$[Z]_{ac_1} = 0,060 \text{ M} * \left[ \frac{25}{25 + 25 * 6,25} \right]^1 = 8,28 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[Z]_{ac_2} = 0,060 \text{ M} * \left[ \frac{25}{25 + 12,5 * 6,25} \right]^2 = 3,53 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[Z]_{ac_5} = 0,060 \text{ M} * \left[ \frac{25}{25 + 5 * 6,25} \right]^5 = 1,04 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[Z]_{ac_{10}} = 0,060 \text{ M} * \left[ \frac{25}{25 + 2,5 * 6,25} \right]^{10} = 4,67 \times 10^{-4} \text{ M}$$

### Solución:

2) A partir de las concentraciones iniciales y finales de Z, se halla el % restante en la fase acuosa tras la etapa N de la siguiente manera:

$$\% Z_N = \left( \frac{[Z]_N}{[Z]_0} \right) * 100$$

$[Z]_0$  = Concentración de soluto Z en fase acuosa al inicio.

$[Z]_N$  = Concentración de soluto Z en fase acuosa tras la extracción N.

$$\% Z_1 = \left( \frac{8,28 \times 10^{-3}}{0,060} \right) * 100 = 13,80\% \\ (\%Z \text{ extraído} = 86,2\%)$$

$$\% Z_2 = \left( \frac{3,53 \times 10^{-3}}{0,060} \right) * 100 = 5,88\% \\ (\%Z \text{ extraído} = 94,12\%)$$

$$\% Z_5 = \left( \frac{1,04 \times 10^{-3}}{0,060} \right) * 100 = 1,73\% \\ (\%Z \text{ extraído} = 98,27\%)$$

$$\% Z_{10} = \left( \frac{4,67 \times 10^{-4}}{0,060} \right) * 100 = 0,78\% \\ (\%Z \text{ extraído} = 99,22\%)$$

### Resumen:

> **Extracción simple:** Se extrae soluto de la fase acuosa con disolvente orgánico en una sola etapa.

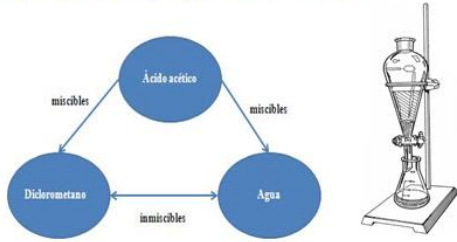
$$K = \frac{[A]_{orgánica}}{[A]_{acuosa}} \quad [A]_{acuosa} = \frac{n-x}{V_{ac}} \\ [A]_{orgánica} = \frac{x}{V_{org}}$$

> **Extracción múltiple:** Se extrae soluto de la fase acuosa con pequeñas porciones de disolvente orgánico en más de una etapa.

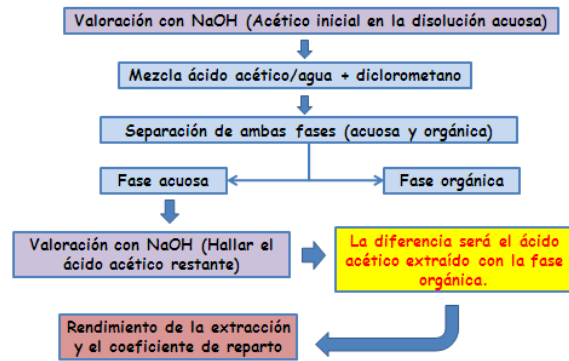
$$[A]_{ac_N} = [A]_{ac_0} * \left[ \frac{V_{ac}}{V_{ac} + V_{org} * K} \right]^n$$

### Práctica de laboratorio

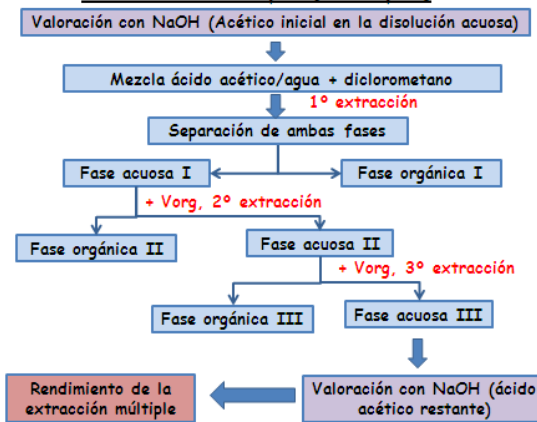
> Extracción simple y múltiple (3 extracciones) de una disolución acuosa de ácido acético empleando diclorometano como disolvente extractor.



### Extracción simple



### Extracción múltiple (3 etapas)

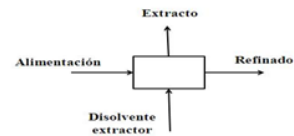


## 7. Sistemas ternarios. Diagrama triangular Cálculo e interpretación

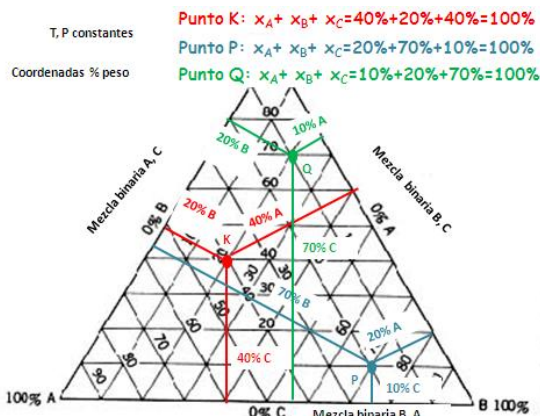
### 7.1. Diagrama triangular.

> Sistema ternario (3 componentes: soluto, diluyente, disolvente extractor).

Nos interesa hallar las composiciones y flujos másicos de todas las corrientes



> Se utilizan los diagramas triangulares para hallar la composición de las corrientes de entrada y salida de un sistema. **DIAGRAMAS DE TRIÁNGULO EQUILÁTERO!!!**



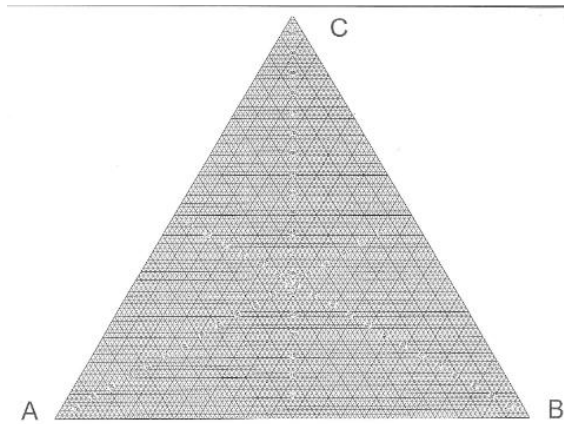
### Características del Diagrama triangular

> En cualquier punto del triángulo equilátero, la suma de las distancias perpendiculares hasta los tres lados es igual a la altura del triángulo.

> Cada uno de los vértices del triángulo representa los componentes puros.

> Sobre cada lado se representan las mezclas binarias de los componentes que se encuentran en los vértices correspondientes a ese lado.

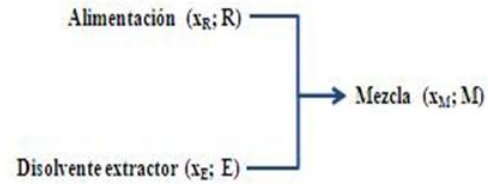
> Cualquier punto interior representa una mezcla ternaria.



### 7.2. Aplicaciones del diagrama triangular.

a) Determinar puntos de mezcla a partir de corrientes de entrada.

$x_R, x_E, x_M$  = Fracciones másicas de soluto (nos interesa extraer)  
 $R, E, M$  = Flujo másico (kg (por lotes o discontinuo) o kg/h (continuo))



### 7.2. Aplicaciones del diagrama triangular.

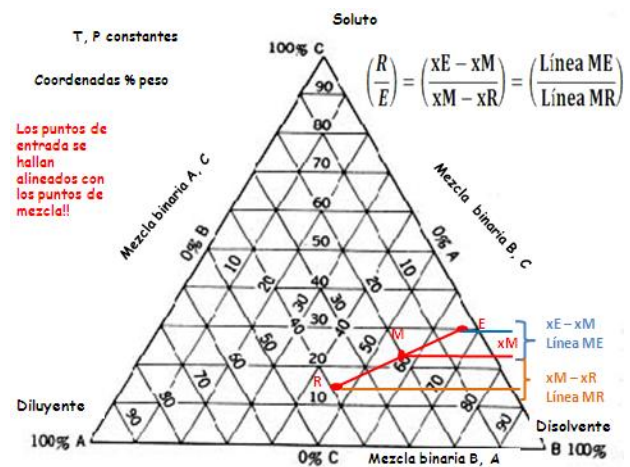
a) Determinar puntos de mezcla a partir de corrientes de entrada.

- > Balance de materia Global:  $E + R = M$
- > Balance de materia al soluto:  $x_E \cdot E + x_R \cdot R = x_M \cdot M$

$$x_E \cdot E + x_R \cdot R = x_M \cdot M \quad \leftarrow \text{Balance de materia al soluto}$$

$$(x_E - x_M) \cdot E = (x_M - x_R) \cdot R \quad \leftarrow \text{Balance de materia Global}$$

$$\left(\frac{R}{E}\right) = \left(\frac{x_E - x_M}{x_M - x_R}\right) = \left(\frac{\text{Línea ME}}{\text{Línea MR}}\right) \quad \text{Regla de la Palanca}$$

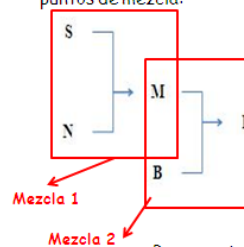


### EJEMPLO

A partir de  $H_2SO_4$  del 98% en peso (98% de  $H_2SO_4$  y 2% de  $H_2O$ ),  $HNO_3$  del 68% en peso (68% de  $HNO_3$  y 32% de  $H_2O$ ), y de agua se han de preparar 500 kg de una disolución cuya composición, en peso, sea 35% de  $HNO_3$ , 20% de  $H_2SO_4$  y 45% de  $H_2O$ . Empleando el diagrama triangular, calcúlese las cantidades necesarias de cada uno de las corrientes.

### Solución:

> Paso 1: Hacer el esquema del proceso representando los puntos de mezcla:



- N (68% de  $HNO_3$  y 32% de  $H_2O$ )
- S (98% de  $H_2SO_4$  y 2% de  $H_2O$ )
- B (100% de  $H_2O$ )
- P (500 kg, 35% de  $HNO_3$ , 20% de  $H_2SO_4$  y 45% de  $H_2O$ .)

Representando el diagrama triangular:  
 A ( $H_2SO_4$ ), B ( $H_2O$ ), C ( $HNO_3$ )  
 El C como referencia para los balances

> Paso 2: Se plantean los balances de materia globales y los balances aplicados al C (HNO<sub>3</sub>) para cada mezcla:

Mezcla 1

$$\begin{cases} S + N = M & \text{(Balance de materia global)} \\ xS \cdot S + xN \cdot N = xM \cdot M & \text{(Balance de materia al C)} \end{cases}$$

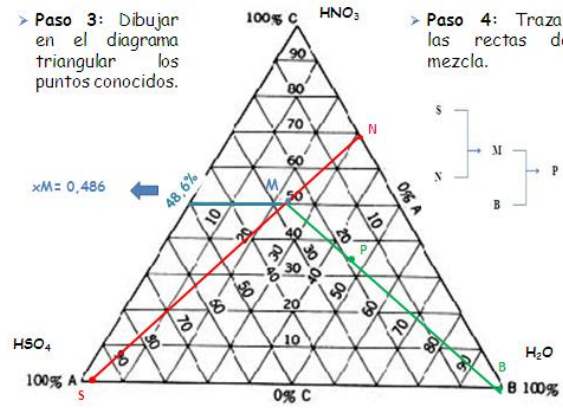
No conocemos los valores de M (xM, M) ni las masas de S y N!!!

Mezcla 2

$$\begin{cases} M + B = P = 500 \text{ kg} & \text{(Balance de materia global)} \\ xM \cdot M + xB \cdot B = xP \cdot P & \text{(Balance de materia al C)} \end{cases}$$

No conocemos los valores de M (xM, M) ni el valor de la masa B!!!

> Paso 3: Dibujar en el diagrama triangular los puntos conocidos.



> Paso 5: Se sustituye y se resuelve el sistema de ecuaciones:

Mezcla 1

$$\begin{cases} S + N = 359,7 \text{ kg} & \text{(Balance de materia global)} \\ 0 \cdot S + 0,68 \cdot N = 0,486 \cdot 359,7 \text{ kg} & \text{(Balance de materia C)} \end{cases}$$

N = 257,3 kg  
S = 102,4 kg

Mezcla 2

$$\begin{cases} 0,486 \cdot M + 0 \cdot B = 0,35 \cdot 500 \text{ kg} & \text{(Balance de materia C)} \\ M + B = P = 500 \text{ kg} & \text{(Balance de materia global)} \end{cases}$$

M = 359,7 kg  
B = 140,3 kg

> También se puede emplear la Regla de la Palanca para cada punto de mezcla, deducida a partir de los balances globales y los balances aplicados al C (HNO<sub>3</sub>):

Mezcla 1

$$\left( \frac{S}{N} \right) = \left( \frac{xM - xN}{xS - xM} \right) = \left( \frac{0,486 - 0,68}{0,0 - 0,486} \right) = 0,398$$

S + N = M = 359,7 kg (balance global)  
N = 257,3 kg  
S = 102,4 kg

Mezcla 2

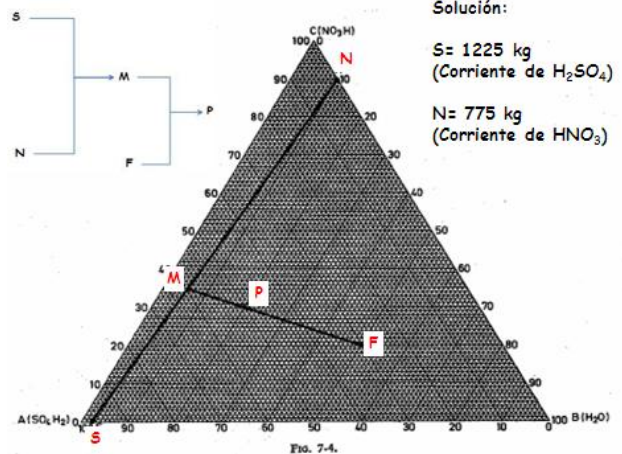
$$\left( \frac{M}{B} \right) = \left( \frac{xP - xB}{xM - xP} \right) = \left( \frac{0,35 - 0,0}{0,486 - 0,35} \right) = 2,564$$

M + B = P = 500 kg (balance global)  
M = 359,7 kg  
B = 140,3 kg

### EJERCICIO

1000 kg de una mezcla ácida de composición, en peso, 30% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20% de HNO<sub>3</sub> y 50% de H<sub>2</sub>O se ha de modificar añadiéndole H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 98% y HNO<sub>3</sub> del 90%, para dar una disolución cuya composición sea: 50% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 30% de HNO<sub>3</sub> y 20% de H<sub>2</sub>O. Empleando el diagrama triangular, calcúlense las cantidades que han de añadirse de los dos ácidos concentrados (Problema 2.1 de la hoja de problemas)

Nota: Tomad como componente de referencia el ácido nítrico para los balances de materia.



7.2. Aplicaciones del diagrama triangular.

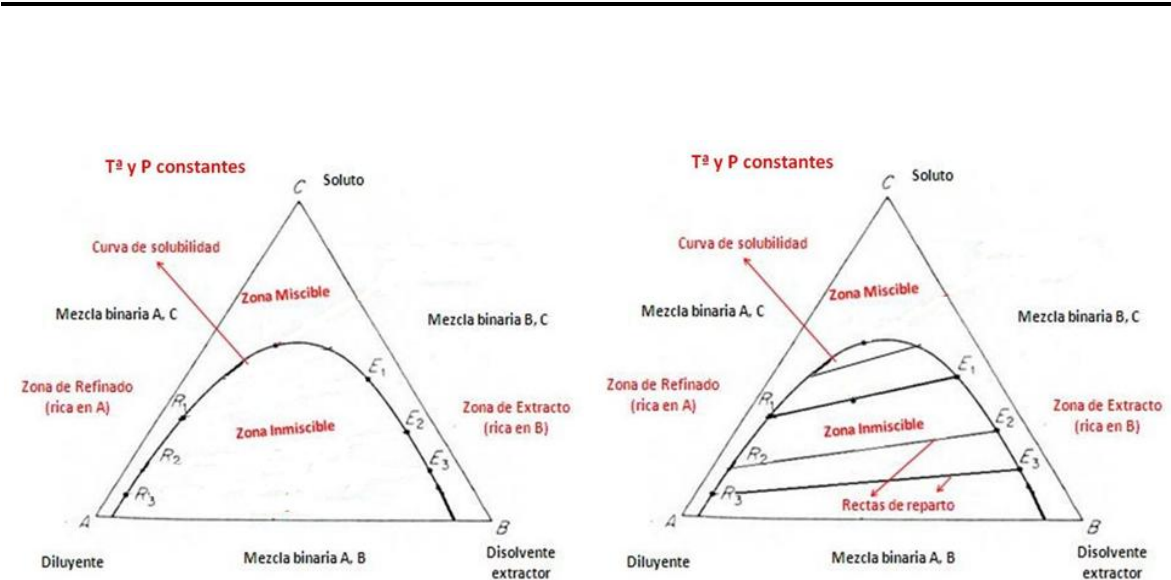
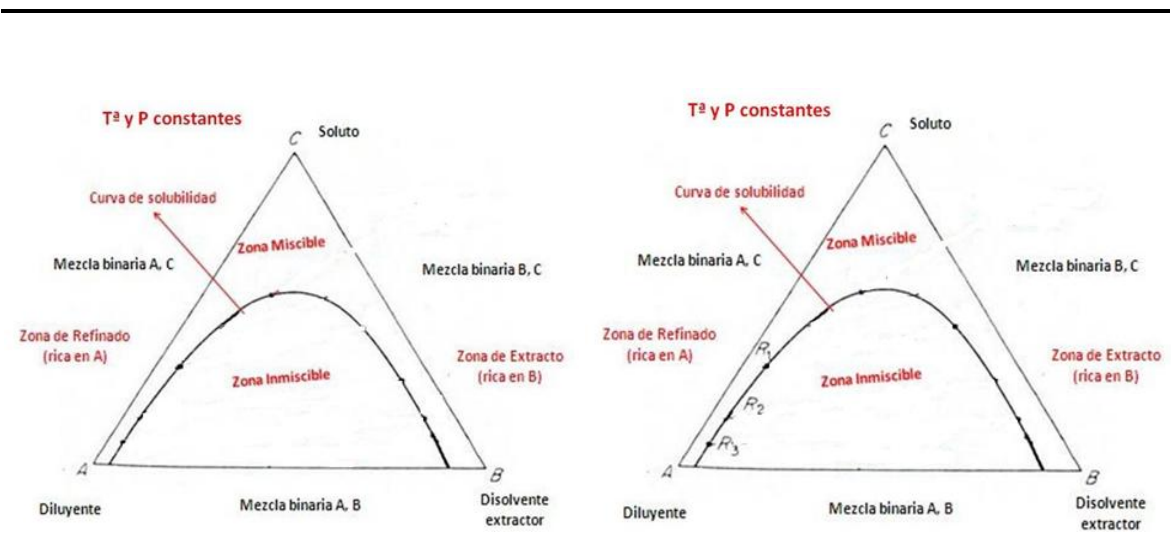
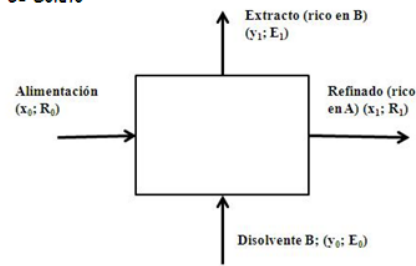
b) Caso de dos disolventes parcialmente miscibles. Curvas de solubilidad. Rectas de reparto. (1 etapa)

- > En la mayoría de los casos el **diluyente** (el disolvente de la alimentación) y el **disolvente extractor** son **parcialmente miscibles** entre sí.
- > El **soluto** o el **componente a extraer** es muy soluble en ambos líquidos.

Planteamiento del sistema:

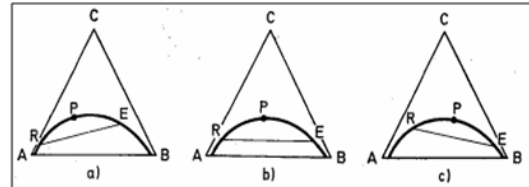
A = Diluyente  
 B = Disolvente extractor  
 C = Solute

$y_0, x_0, x_1, y_1$  = fracciones másicas de soluto  
 $R_0, E_0, R_1, E_1$  = Flujos másicos (kg/h) o masas (kg)



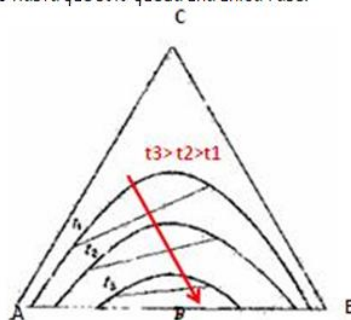


➤ Las rectas de reparto no necesariamente tienen que ser paralelas y la pendiente de las mismas varía con las concentraciones y la naturaleza de la mezcla.



La fase E es más rica en C que la fase R (a), la distribución de C no está favorecida hacia ninguna de las fases (b) y la distribución de C está favorecida hacia la fase R (c).

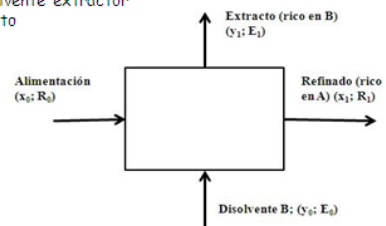
La temperatura influye en el proceso de tal forma que al aumentar la temperatura, la solubilidad de los líquidos por lo general aumenta de manera que la zona inmiscible va disminuyendo hasta que solo queda una única fase.



### Planteamiento del problema:

- Balance de materia Global:  $E_0 + R_0 = M = E_1 + R_1$
- Balance de materia al soluto C:  $y_0 \cdot E_0 + x_0 \cdot R_0 = x_M \cdot M = y_1 \cdot E_1 + x_1 \cdot R_1$

A = Diluyente  
B = Disolvente extractor  
C = Soluto

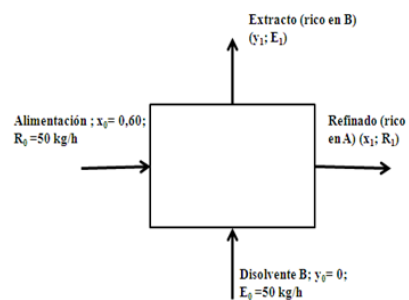


### EJEMPLO

Se utiliza cloroformo para extraer acetona de una alimentación de 50 kg/h que contiene un 60% en peso de acetona en agua a 298 K y 1 atm. El proceso de extracción se lleva a cabo en una etapa con 50 kg/h de disolvente puro. Calcula el flujo y composición de las corrientes de salida.

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Fase acuosa % peso			Fase orgánica (cloroformo) % peso		
Agua	Cloroformo	Acetona	Agua	Cloroformo	Acetona
82,97	1,23	15,80	1,30	70,00	28,70
73,11	1,29	25,60	2,20	55,70	42,10
62,29	1,71	36,00	4,40	42,90	52,70
45,60	5,10	49,30	10,30	28,40	61,30
34,50	9,80	55,70	18,60	20,40	61,00
23,50	16,90	59,60	23,50	16,90	59,60

A = Diluyente (agua)  
B = Disolvente extractor (cloroformo)  
C = Soluto (acetona)



**Balances de materia a la entrada:**

> Balance global al sistema:  $E_0 + R_0 = M$ ;

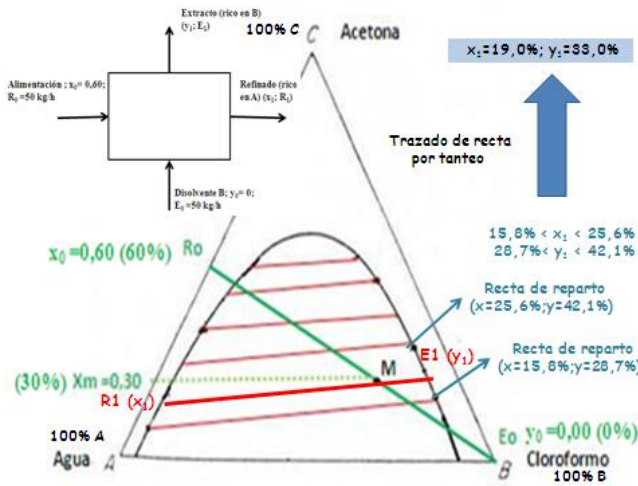
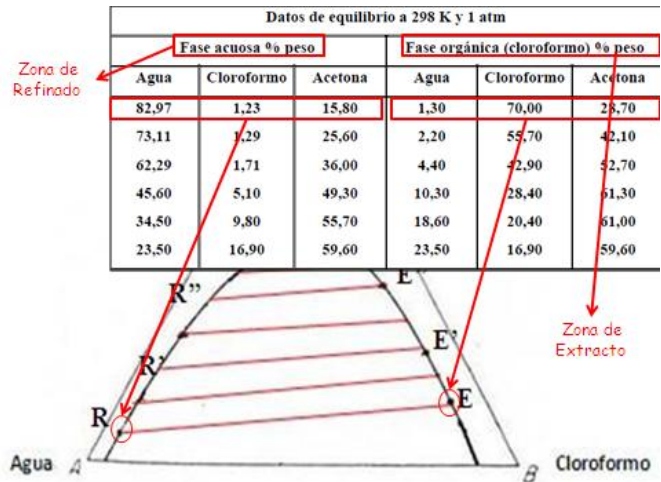
$$M = 50 + 50 \text{ kg/h} = 100 \text{ kg/h}$$

> Balance al componente C (soluto):

$$0 \cdot E_0 + 0,60 \cdot R_0 = x_M \cdot M$$

$$0,60 \cdot 50 \text{ kg/h} = x_M \cdot 100; \quad x_M = 0,30$$

Los valores punto de mezcla son :  $M = 100 \text{ kg/h}$ ;  $x_M = 0,30$



**Balances de materia a la salida:**

> Balance global al sistema:  $M = E_1 + R_1$ ;

$$100 \text{ kg/h} = E_1 + R_1$$

> Balance al componente C (soluto):

$$x_M \cdot M = y_1 \cdot E_1 + x_1 \cdot R_1$$

$$0,30 \cdot 100 = 0,33 \cdot E_1 + 0,19 \cdot R_1$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos lo siguiente:

$$R_1 = 23,29 \text{ kg/h}$$

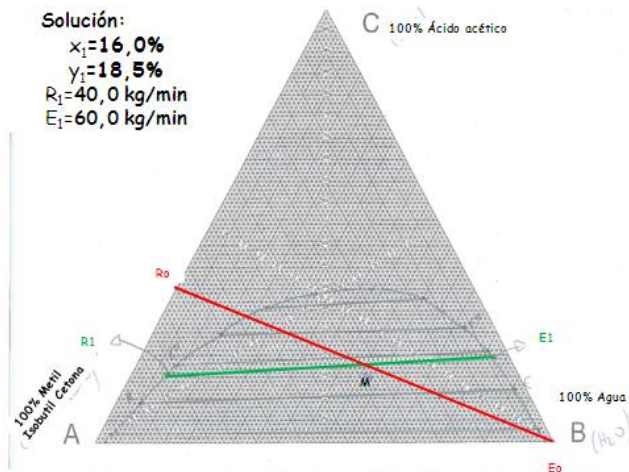
$$E_1 = 76,71 \text{ kg/h}$$

**EJERCICIO**

En un proceso continuo de extracción de una sola etapa, se mezclan 50 kg/min de agua con 50 kg/min de una solución compuesta por 35% en peso de ácido acético y un 65% en peso de metil isobutil cetona. Calcula el flujo y composición de las corrientes de salida (Problema 2.2 de la hoja).

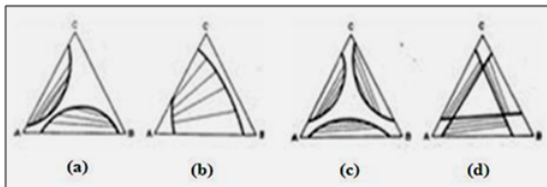
Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Fase acuosa % peso			Fase orgánica (metil isobutil cetona) % peso		
Agua	Ácido acético	Metil isobutil cetona	Agua	Ácido acético	Metil isobutil cetona
98,45	0,00	1,55	2,12	0,00	97,88
95,45	2,85	1,70	2,80	1,87	95,33
85,80	11,70	2,50	5,40	8,90	85,70
75,70	20,50	3,80	9,20	17,30	73,50
67,80	26,20	6,00	14,50	24,60	60,90
55,00	32,80	12,20	22,00	30,80	47,20
42,90	34,60	22,50	31,00	33,60	35,40

Solución:  
 $x_1 = 16,0\%$   
 $y_1 = 18,5\%$   
 $R_1 = 40,0 \text{ kg/min}$   
 $E_1 = 60,0 \text{ kg/min}$





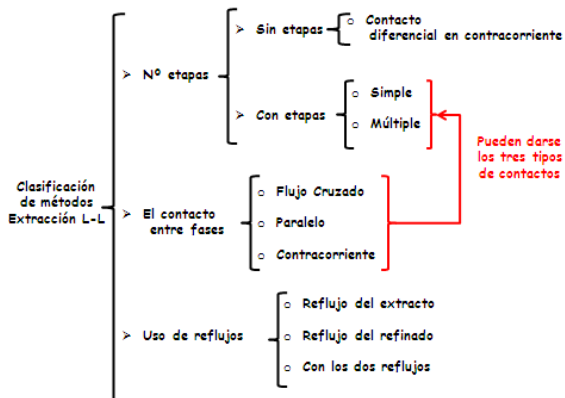
7.3. Otras curvas de solubilidad.



Mezclas A-B, y de A-C parcialmente miscibles (a y b).

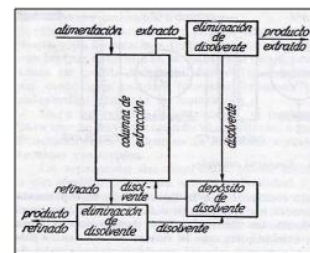
3 mezclas: A-B, B-C y C-D parcialmente miscibles (c y d).

## 8. Métodos de extracción L-L



### Clasificación según las etapas:

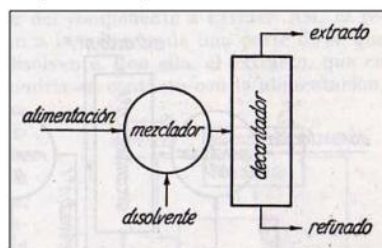
- > Sin etapas:
  - Contacto diferencial en contracorriente



### Clasificación según las etapas:

- > Con etapas:

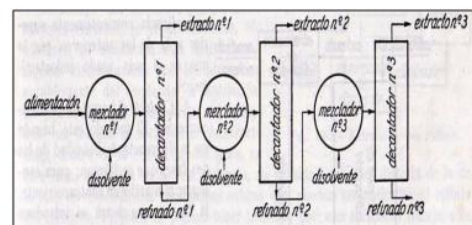
- Simple (1 etapa)



### Clasificación según las etapas:

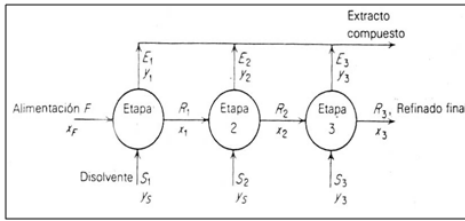
- > Con etapas:

- Múltiple (2 o más etapas)



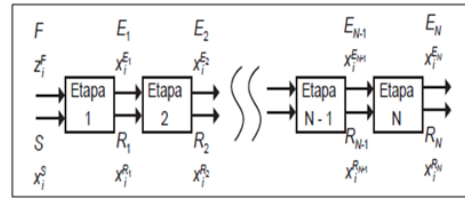
**Clasificación según el contacto entre fases:**

- Flujo cruzado (o corrientes cruzadas):



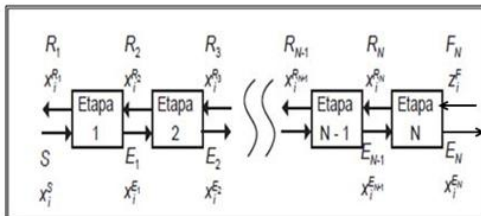
**Clasificación según el contacto entre fases:**

- Flujos en paralelo (o corrientes paralelas):



**Clasificación según el contacto entre fases:**

- Flujos en contracorriente:

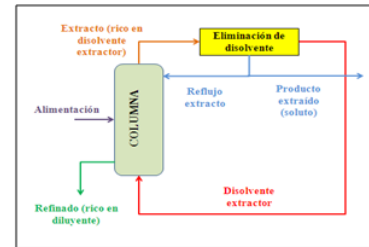


**Clasificación según el uso de reflujos:**

**Reflujo:** Recirculación de parte del producto extraído o del refinado para mejorar la transferencia de materia entre las fases.

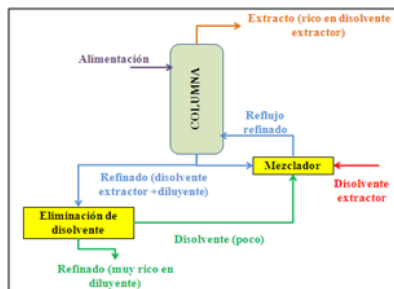
- Reflujo del extracto:

Hay dos formas:  
**Disolvente por la parte inferior** o  
**por la parte superior** según las  $\rho$  densidades



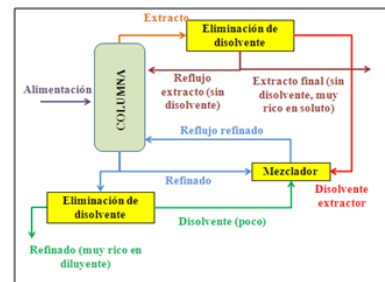
**Clasificación según el uso de reflujos:**

- Reflujo del refinado:



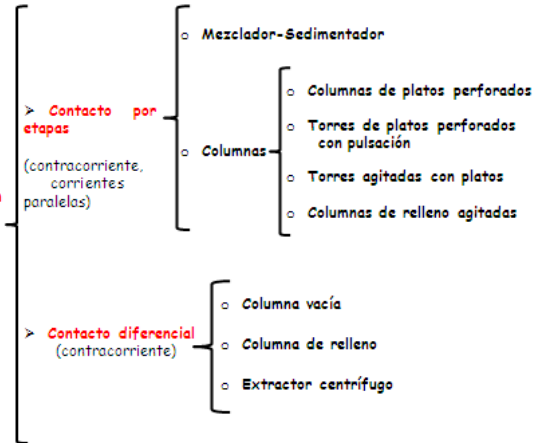
**Clasificación según el uso de reflujos:**

- Con los dos reflujos:



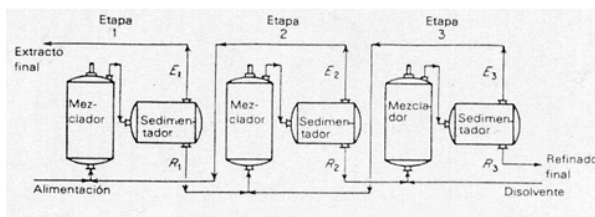
## 9. Clasificación y descripción de equipos.

Clasificación de equipos Extracción L-L



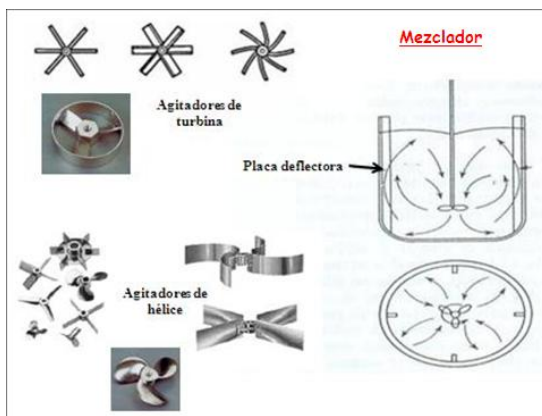
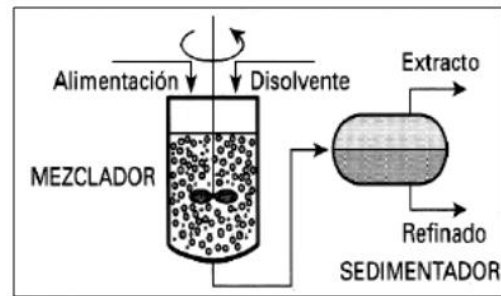
### 9.1. Mezclador-Sedimentador

- > 1 o varias etapas.
- > Formado por 2 partes:
  - **Mezclador:** Se pone en contacto 2 fases líquidas y lograr la transferencia de materia.
  - **Sedimentador:** Separación mecánica de fases en equilibrio.
- > Suelen operar a contracorriente.



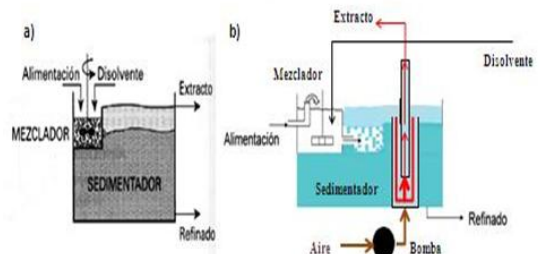
### 9.1. Mezclador-Sedimentador

- > El conjunto mezclador-separador puede darse de dos formas:
  - **Independientes** (operan en continuo):



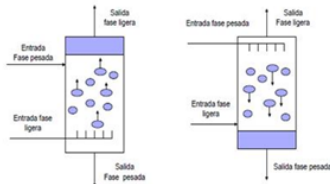
### 9.1. Mezclador-Sedimentador

- **Integrados** (operan en discontinuo o por lotes):



### 9.2. Columnas por etapas

- > 2 fases:
  - **Fase continua:** La fase que llena la columna o el plato.
  - **Fase dispersa:** La fase que se halla en forma de gotitas dispersas.
- > Contracorriente.
- > Diferencia de densidades entre flujos (Importante de cara a establecer entradas y salidas).



### 9.2. Columnas por etapas

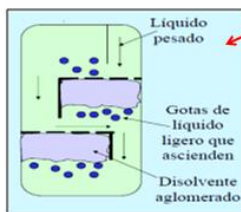
- > Pueden presentar **rellenos o platos** (mejorar contacto entre fases).



Caso de la columna de extracción con platos perforados

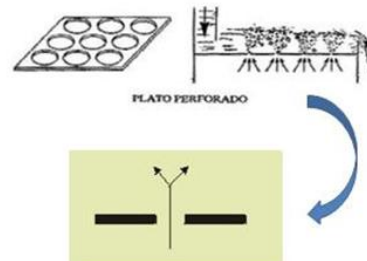
#### a) Columnas de platos perforados

- > También se llaman **columnas de bandejas ranuradas**.
- > **Contracorriente**.
- > **Sistema continuo**.
- > **Líquido ligero** (fase dispersa) y el **pesado** (fase continua).



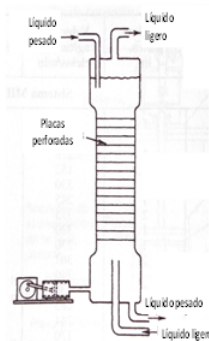
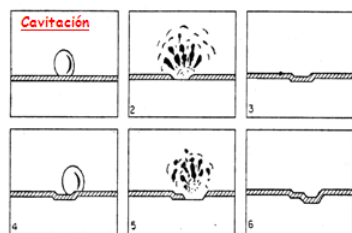
#### a) Columnas de platos perforados

- > Se pueden emplear **distintos modelos de platos** pero el funcionamiento en general es similar.
- > Platos perforados o cribados **MÁS USADOS!!!**



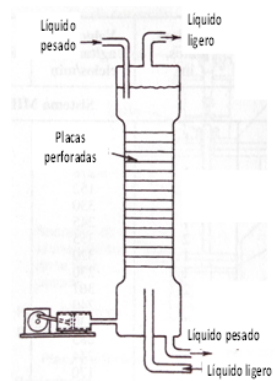
#### b) Torres de platos perforados con pulsación

- > **Contracorriente** y en continuo.
- > Fase dispersa en ambas (ligera y pesada).
- > **Mejora de eficiencia con respecto al caso anterior**.
- > **Bomba de pistón o émbolo** como impulso en el movimiento de fases.

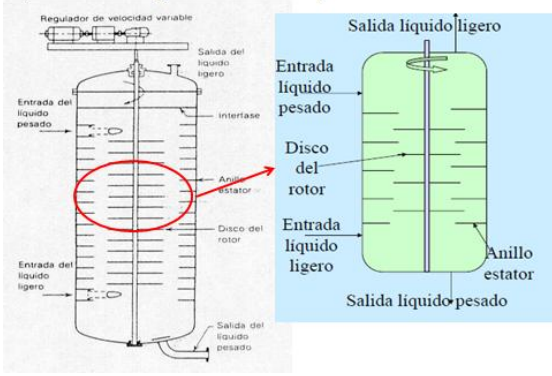


#### b) Torres de platos perforados con pulsación

- > **Fase I:** El émbolo empuja al líquido ligero que entra por la parte inferior, dispersándose por los agujeros y poniéndose en contacto con el líquido pesado que cae por la parte superior y sedimenta.
- > **Fase II:** El émbolo succiona, de manera que los líquidos pesado y ligero entran, dispersándose el pesado. A su vez, el líquido pesado entra en contacto con el ligero, sedimentando de nuevo y sale finalmente por la parte inferior.

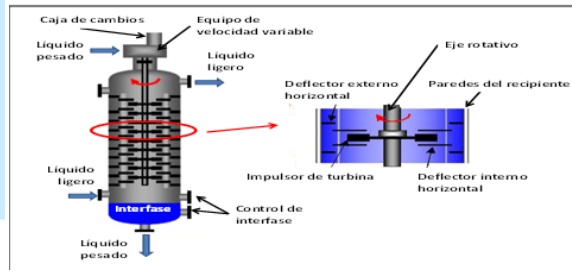


**c) Torres agitadas con platos**

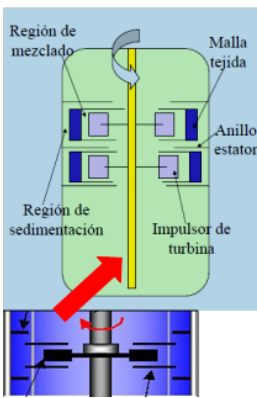


**d) Columnas de relleno agitadas**

- > También se conoce como **columnas de York-Scheibel**
- > Contracorriente y en continuo.
- > Deflectores horizontales que controlan el mezclado.
- > Gran número de etapas.



**d) Columnas de relleno agitadas**

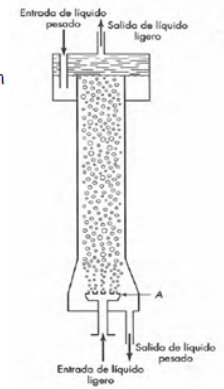
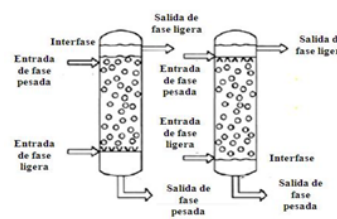


- > Las regiones que rodean a los agitadores están empaquetadas con tela metálica (**mallas tejidas**) que favorecen **mezcla y separación de fases**.
- > Entre relleno y relleno hay una **zona de mezcla** y una posterior **separación de fases**, de tal manera que la fase ligera forma una capa en la zona inferior del relleno, dispersándose hacia arriba mientras que la fase líquida pesada va llenando el relleno circulando hacia abajo.
- > Una **serie de unidades de extracción de mezclado y sedimentación**.

**9.3. Equipos por contacto diferencial**

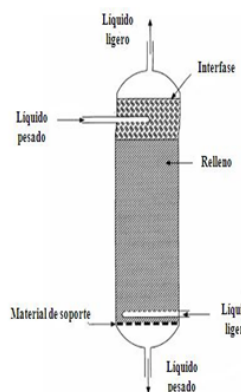
**a) Columna vacía:**

- > 1 fase continua y otra dispersa.
- > Sencillas y baratas, pero poca separación
- > Caudales elevados.
- > Eficacia baja y poco utilizadas.
- > Contracorriente.



**b) Columna de relleno:**

- > Similar a la anterior pero con **material de relleno**.
- > + **contacto entre fases** con aumento de la superficie de separación y prolongando el tiempo de contacto.
- > **Materiales de relleno son variados**, como virutas metálicas o piezas especiales (anillos Raschig...).
- > **Inconveniente:** Necesidad de **limpieza o renovación del material de relleno** y de la **placa de soporte del fondo**.
- > **Inadecuadas** para líquidos con partículas contaminantes o que cristalizan.



- 1) Sillas Berl
- 2) Sillas Intalox

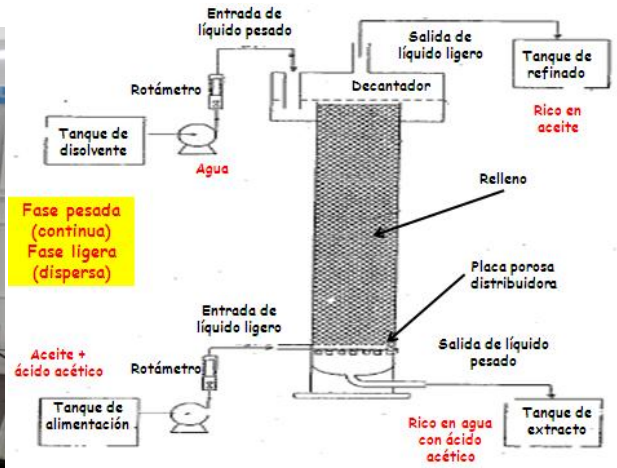


- 1) Anillos Lessing
- 2) Anillos en Cruz

**Piezas de relleno especiales:**

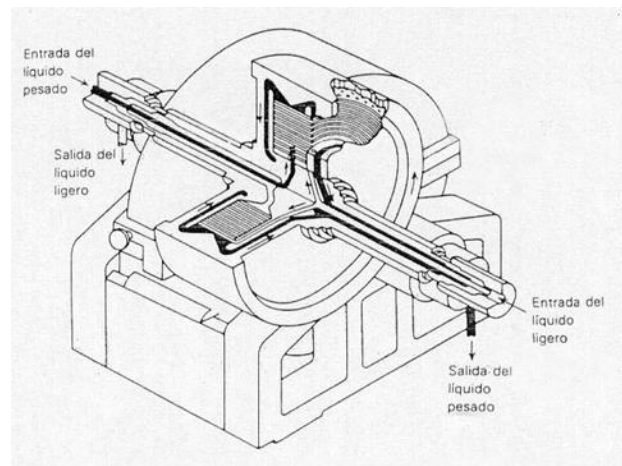


- 1) Anillos Raschig
- 2) Anillos Pall

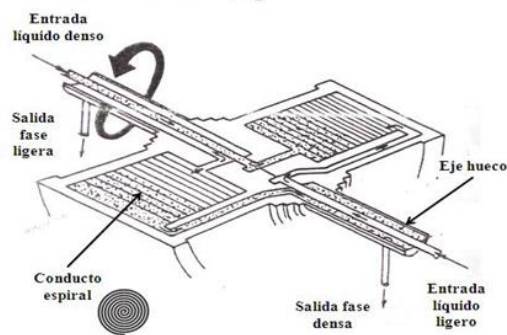


**c) Extractor centrífugo:**

- > También conocido como extractor de Podbielniak.
- > Fuerzas centrífugas que aumentan el contacto entre fases evitando emulsiones estables.
- > Cilindro hueco que gira a gran velocidad alrededor de un eje horizontal también hueco.
- > El interior del cilindro está ocupado por un conducto espiral metálico con perforaciones.
- > Se suelen hacer con materiales tipo acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión.
- > Aplicaciones: producción de artículos farmacéuticos, procesos petroquímicos, refino de disolventes...



**c) Extractor centrífugo:**



**10. Variables que influyen en el proceso**



### 10. Variables que influyen en el proceso

- > **Temperatura:** La temperatura puede afectar a la miscibilidad de disolventes y a la viscosidad de los mismos.
- > **Proporción de soluto:** Puede afectar a la miscibilidad de los disolventes.
- > **Caudal de disolvente extractor:** Al aumentar el caudal de disolvente extractor baja la concentración en el mismo y el equilibrio se desplaza hacia la extracción.
- > **Agitación:** Aumenta la velocidad de disolución por lo cual se aumenta el rendimiento. Puede perjudicar la sedimentación.
- > **Finura de las gotas dispersadas en la fase continua:** Aumenta la superficie de contacto al aumentar la finura, con ello el rendimiento. También puede perjudicar la sedimentación.
- > **Reflujo:** Un extracto + concentrado en producto (**reflujo de extracto**) y un refinado + concentrado en su componente principal (**reflujo de refinado**).
- > **Tensión superficial del líquido:** Un aumento de tensión superficial (en el caso de dos líquidos **tensión interfacial**) perjudica el contacto entre líquidos, al ser baja se permite la mezcla entre disolventes. Si es muy baja, puede perjudicar la separación entre fases, creando en algunos casos emulsiones muy estables.
- > **Diferencia de densidades:** La diferencia de densidades entre fases favorece la sedimentación pero no influye en la extracción.

### 11. Problemas en los equipos

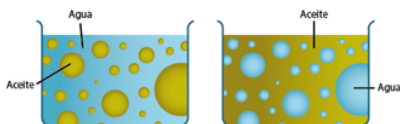
**Inundación en columnas:**

- ✓ En toda columna hay 2 fases: la continua y la dispersa. En el caso de la **fase dispersa**, las **gotas pueden unirse** llegando a formar **capas continuas**, de tal manera que esto contribuye a **disminuir la eficiencia del contacto** y con ello la transferencia de materia.
  - > **Causas:** **Velocidades de circulación de las fases** (continua y dispersa) asociadas al **caudal**:  $Q = v \cdot S$  (v velocidad y S sección) que pueden provocar retención de gotas y con ello inundación.
  - > **Solución:** Estimar y controlar los **caudales máximos** de entrada de las **fases continua y dispersa** del sistema, por encima de los cuales se produce la inundación.

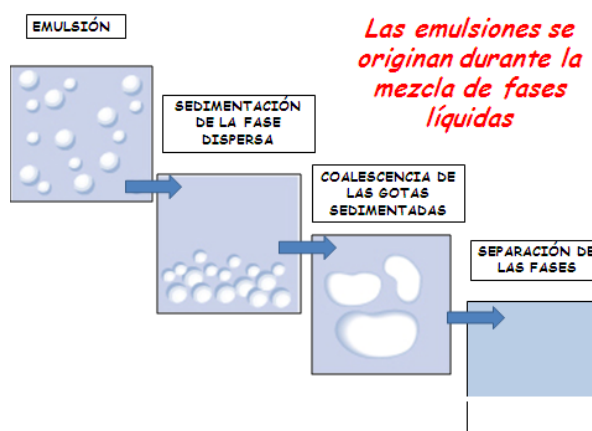
### 11. Problemas en los equipos

**Formación de emulsiones:**

- ✓ La **emulsión** es una mezcla de **dos líquidos inmiscibles** de manera más o menos homogénea. Un líquido que se haya en forma de gotitas (**fase dispersa**) es dispersado en otro (**fase continua** o **fase dispersante**)



Emulsiones de dos líquidos inmiscibles: aceite en agua (izda.) y agua en aceite (dcha.).



### 11. Problemas en los equipos

**Formación de emulsiones:**

- ✓ Para que se produzca el contacto entre los líquidos y la posterior **transferencia de materia de soluto** de una fase a otra, requiere de la formación de **emulsiones**.
- ✓ Para que una emulsión **desaparezca** o se "**rompa**", las gotas de la fase dispersa deben **sedimentarse** y posteriormente sufrir **coalescencia** (unión de gotitas para formar una grande), para finalmente producirse la **separación de fases**.
- ✓ En función de la **estabilidad** o **permanencia** de esas emulsiones, pueden darse dos tipos de emulsiones:
  - > **Emulsiones estables (no deseadas)** que no sedimentan ni coalescen con rapidez. Las gotas de 1-1.5 µm. Pueden deberse a líquidos con baja tensión interfacial, alta viscosidad de la fase continua y presencia de polvo.
  - > **Emulsiones inestables (deseadas)** que sedimentan y coalescen con rapidez. Las gotas de 1 mm o más. Viscosidad de la fase continua moderada o baja, mayor tensión interfacial en las fases líquida, sin presencia de otras partículas o polvo.

**HAY QUE EVITAR LAS EMULSIONES ESTABLES!!!**

*¿Por qué las emulsiones suponen un problema para los equipos de extracción Líquido-Líquido?*

*¿Cómo podemos evitar las emulsiones estables?*

**Soluciones:**

- > **Controlar de la agitación** en aquellos sistemas en los que se hace uso de la misma para favorecer el contacto entre fases.
  - > En la elección del disolvente extractor la **tensión superficial debe ser moderada**: baja para permitir el contacto entre fases pero no demasiado baja para evitar las emulsiones estables.
  - > A la hora de seleccionar el disolvente, elegir aquellos que presenten una **viscosidad baja**.
  - > **Evitar la presencia de partículas de polvo** en el proceso (un adecuado mantenimiento).
- 

*Muchas gracias por vuestra atención!!*

*¿Dudas?*

*¿Comentarios?*

*¿Sugerencias?*

---



## **Anexo IV: Hoja de problemas:**

### **1. Problemas cálculo de coeficientes de reparto**

1.1. Una disolución contiene 40 mg de ácido subérico en 50 ml de agua. ¿Qué cantidad de ácido subérico podría separarse mediante una extracción con 50 ml de éter? ¿Cuánta cantidad quedaría en la fase acuosa? Coeficiente de reparto entre el éter y el agua es 4,0. Solución: 32 mg de ácido subérico en éter y 8 mg en fase acuosa.

1.2. El coeficiente de distribución para X entre n-hexano y agua es 9,6. Calcúlese la concentración de X que queda en la fase acuosa después de que 50,0 ml de X 0,150 M se han tratado por extracción con las siguientes cantidades de n-hexano: a) una porción de 40,0 ml, b) dos porciones de 20,0 ml, c) cuatro porciones de 10,0 ml y d) ocho porciones de 5,00 ml.  
Solución: a)  $1,73 \times 10^{-2}$  M b)  $6,40 \times 10^{-3}$  M c)  $2,06 \times 10^{-3}$  M d)  $6,89 \times 10^{-4}$  M

1.3. El coeficiente de distribución para Z entre n-hexano y agua es 6,25. Calcúlese el porcentaje de Z que queda en 25 ml de agua que originalmente 0,060 M en Z, después de la extracción con los siguientes volúmenes de n-hexano: a) una porción de 25,0 ml, b) dos porciones de 12,5 ml, c) cinco porciones de 5,00 ml y d) diez porciones de 2,50 ml.  
Solución: a) 13,79% b) 5,88% c) 1,73% d) 0,78%

1.4. ¿Qué coeficiente mínimo de distribución se necesita para eliminar 99% de un soluto de 50,0 ml de agua con a) dos extracciones con 25,0 ml de tolueno y b) con cinco extracciones con 10,0 ml de tolueno?  
Solución: a) 18,0 b) 7,56

1.5. Una disolución de bromo en agua contiene 40 mg de bromo en 10 cm<sup>3</sup> de agua. Calcular la cantidad de bromo extraída en los siguientes casos:  
a) En una sola extracción con 2 cm<sup>3</sup> de CCl<sub>4</sub>.  
b) En dos extracciones sucesivas de 1 cm<sup>3</sup> de CCl<sub>4</sub> en cada una, separando la capa de CCl<sub>4</sub> después de la primera extracción.

El coeficiente de reparto del bromo entre el CCl<sub>4</sub> y el H<sub>2</sub>O es K=26.

Solución: a) 33,55 mg b) 36,91 mg

### **2. Problemas de diagramas triangulares**

2.1. 1000 kg de una mezcla ácida de composición, en peso, 30% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20% de HNO<sub>3</sub> y 50% de H<sub>2</sub>O se ha de modificar añadiéndole H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 98% y HNO<sub>3</sub> del 90%, para dar una disolución cuya composición sea: 50% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 30% de HNO<sub>3</sub> y 20% de H<sub>2</sub>O. Empleando el diagrama triangular, calcúlese las cantidades que han de añadirse de los dos ácidos concentrados.  
Solución: 1225 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 775 kg HNO<sub>3</sub>

- 2.2. En un proceso continuo de extracción de una sola etapa, se mezclan 50 kg/min de agua con 50 kg/min de una solución compuesta por 35% en peso de ácido acético y un 65% en peso de metil isobutil cetona. Calcula el flujo y composición de las corrientes de salida. Datos de equilibrio:

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Fase acuosa % peso			Fase orgánica (metil isobutil cetona) % peso		
Agua	Ácido acético	Metil isobutil cetona	Agua	Ácido acético	Metil isobutil cetona
98,45	0,00	1,55	2,12	0,00	97,88
95,45	2,85	1,70	2,80	1,87	95,33
85,80	11,70	2,50	5,40	8,90	85,70
75,70	20,50	3,80	9,20	17,30	73,50
67,80	26,20	6,00	14,50	24,60	60,90
55,00	32,80	12,20	22,00	30,80	47,20
42,90	34,60	22,50	31,00	33,60	35,40

Solución:  $E_1=60$  kg/min.  $R_1=40$  kg/min.  $y_1=0,185$ .  $x_1=0,16$ .

- 2.3. Se utiliza cloroformo para extraer una alimentación de 50 kg/h que contiene 60% en peso de acetona en agua a 298 K y 1 atm. El proceso de extracción se lleva a cabo en una sola etapa utilizando 8 kg/h de disolvente puro. Calcula los flujos y composiciones de las corrientes de salida.

Calcula también el flujo y composición de la corriente resultante de mezclar los extractos de todas las etapas. Datos de equilibrio:

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Fase acuosa % peso			Fase orgánica (cloroformo) % peso		
Agua	Cloroformo	Acetona	Agua	Cloroformo	Acetona
82,97	1,23	15,80	1,30	70,00	28,70
73,11	1,29	25,60	2,20	55,70	42,10
62,29	1,71	36,00	4,40	42,90	52,70
45,60	5,10	49,30	10,30	28,40	61,30
34,50	9,80	55,70	18,60	20,40	61,00
23,50	16,90	59,60	23,50	16,90	59,60

Solución:  $E_1=21,54$  Kg;  $R_1=36,46$  Kg;  $x_1=0,465$ ;  $y_1=0,605$ .

- 2.4. Para separar la piridina contenida en 500 Kg de una disolución acuosa de concentración 30% en peso de piridina se extrae con clorobenceno a 25 °C con una sola etapa empleando 150 Kg de clorobenceno. Calcúlese:

- Cantidad total de producto (piridina) extraído en esa etapa.
- El porcentaje de piridina extraída en esa etapa.
- Flujos y composiciones de cada una de las corrientes de salida

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Capa de C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> Cl % en peso			Capa de H <sub>2</sub> O % en peso		
C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> Cl	Piridina	Agua	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> Cl	Piridina	Agua
99,95	0,00	0,05	0,08	0,00	99,92
88,3	11,1	0,6	0,1	5,0	94,9
80,0	19,0	1,0	0,2	11,0	88,8
74,4	24,1	1,6	0,5	18,9	80,6
69,3	28,6	2,1	1,0	25,5	73,5
66,8	31,5	2,7	2,1	36,1	61,8
61,2	35,1	3,7	4,2	45,0	50,8
53,1	40,6	6,3	9,5	53,2	37,3
37,8	49,0	13,2	37,8	49,0	13,2

Solución: a) 51,30 Kg; b) 34,2% c)  $E_1=196,51$  Kg;  $R_1=453,50$  Kg;  $x_1=0,218$ ;  $y_1=0,261$ .

2.5. Se dispone de 500 Kg de una disolución acuosa de acetona de composición 45% en peso de acetona se extrae con 1,1,2-tricloroetano a 25 °C en un sistema de extracción con una sola etapa, empleando 100 Kg de 1,1,2-tricloroetano puro. Calcúlese:

- Cantidad total de producto (acetona) extraído en esa etapa.
- El porcentaje de acetona extraída en esa etapa.
- Flujos y composiciones de las corrientes de salida.

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Capa de H <sub>2</sub> O % en peso			Capa de C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> % en peso		
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	Agua	Acetona	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	Agua	Acetona
0,52	93,52	5,96	90,93	0,32	8,75
0,54	92,95	6,51	89,32	0,40	10,28
0,68	85,35	13,97	78,32	0,90	20,78
0,73	82,23	17,04	73,76	1,10	25,14
0,79	80,16	19,05	71,01	1,33	27,66
1,00	74,00	25,00	60,85	2,09	37,06
1,02	72,06	26,92	59,21	2,27	38,52
1,04	71,33	27,63	58,21	2,40	39,39
1,11	69,35	29,54	55,48	2,85	41,67
1,17	67,95	30,88	53,92	3,11	42,97
1,60	62,67	35,73	47,57	4,26	48,21
2,10	57,00	40,90	40,00	6,05	53,95
3,75	50,20	46,05	33,70	8,90	57,40
6,52	41,70	51,78	26,26	13,40	60,34
14,6	27,40	58,00	14,60	27,4	58,00

Solución: a) 80,50 kg; b) 35,80% c)  $E_1=175,00$  Kg;  $R_1=425,00$  Kg;  $x_1=0,340$ ;  $y_1=0,460$ .

2.6. Tenemos 200 Kg de una mezcla de A y B que contiene una pequeña cantidad de S (28 % en peso de A, 70% de B y 2% de S) se somete a un proceso de extracción simple (una etapa) empleando como agente extractor una solución de S con un 5 % en peso de B. Calcular la cantidad de solvente necesaria para que la concentración del refinado sea del 10% en A, la concentración de extracto y las cantidades de extracto y refinado.

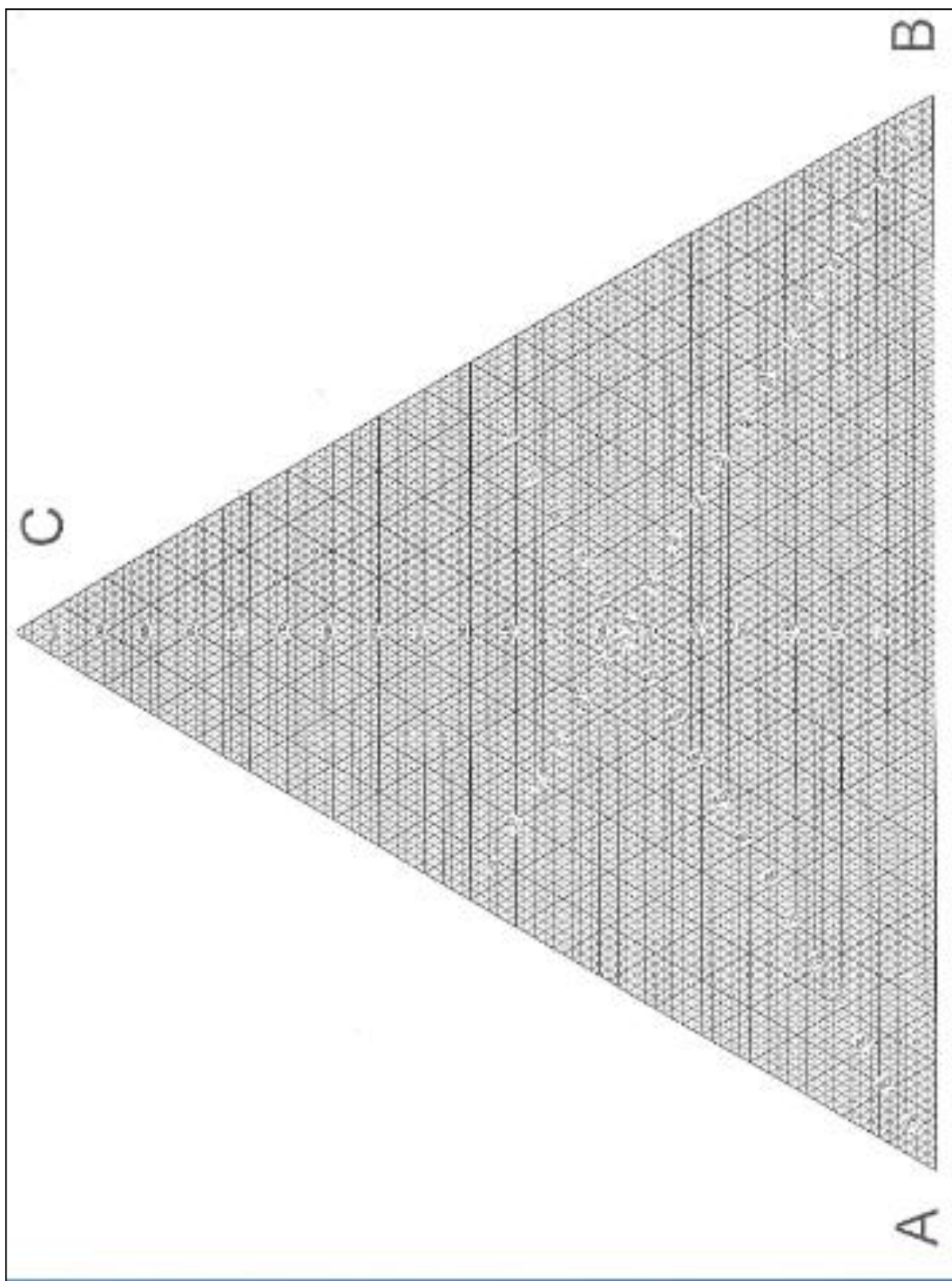
Datos para las rectas de reparto a 25 °C en % peso son los siguientes:

Datos de equilibrio a 298 K y 1 atm					
Refinado (rico en B)			Extracto (rico en S)		
A	S	B	A	S	B
0,0	3,5	96,5	0,0	92,6	7,4
4,8	4,2	91,0	3,2	88,5	8,3
9,4	5,0	85,6	6,0	86,0	8,0
13,5	6,0	80,5	9,5	82,2	8,3
16,6	6,2	77,2	12,8	78,0	9,2
20,0	7,0	73,0	14,8	75,4	9,8
22,4	7,6	70,0	17,5	72,3	10,2
26,0	9,0	65,0	19,8	68,0	12,2
27,8	10,2	62,0	21,2	67,0	11,8
32,6	13,4	54,0	26,4	58,6	15,0

Nota: Por nomenclatura del problema, el disolvente extractor en este caso se denota con S, mientras que al diluyente o componente mayoritario de la alimentación es el B. El soluto será el A.

Solución:  $E_0 = 422,22$  kg;  $y_1 = 0,08$  (aproximado);  $E_1 = R_1 = 311,11$  kg.

### **Anexo V: Plantilla de Diagrama Triangular:**



(FORMATO DINA-4)

**Anexo VI: Guión de la práctica de extracción líquido-líquido:**

## 1. Objetivos

Los principales objetivos de esta práctica son los siguientes:

- Familiarizar al alumno con el fundamento de la extracción líquido-líquido.
- Demostrar que la extracción múltiple es más efectiva que la extracción simple de cara a obtener una mayor cantidad de producto deseado.
- Familiarizar al alumno con la realización de cálculos para la obtención del rendimiento del proceso de extracción líquido-líquido.

## 2. Fundamento teórico

La extracción es un proceso de separación en el cual **un soluto se reparte o se distribuye entre dos fases líquidas inmiscibles**. Lo más común es realizar la extracción entre dos fases líquidas, aunque también pueden realizarse extracciones sólido-líquido.

La extracción líquido-líquido se utiliza con frecuencia para separar especies moleculares simples ( $I_2$ ,  $Br_2$ ,...) y compuestos orgánicos (ácido acético, acetona,...) de las disoluciones acuosas en las que se encuentran inicialmente. El procedimiento consiste en poner en contacto las disoluciones acuosas con un disolvente orgánico inmiscible con el agua y esperar un tiempo hasta la separación de ambas fases. Se utiliza una amplia variedad de disolventes orgánicos en la extracción líquida tales como el benceno ( $C_6H_6$ ), el tolueno ( $C_6H_5-CH_3$ ), el éter de petróleo (mezcla de alcanos de baja magnitud molecular), el cloruro de metileno o diclorometano ( $CH_2Cl_2$ ), el cloroformo ( $CHCl_3$ ), el tetracloruro de carbono ( $CCl_4$ ), el acetato de etilo ( $CH_3-COOC_2H_5$ ) y el alcohol n-butílico ( $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ ). La elección del disolvente se realiza en cada caso teniendo en cuenta la solubilidad en el mismo de la sustancia a extraer y la facilidad con que puede separarse ésta del disolvente.

El proceso de extracción líquido-líquido como ya se ha comentado antes consiste en poner en contacto las disoluciones acuosas con el disolvente orgánico seleccionado, inmiscible con el agua y esperar un tiempo hasta la separación de ambas fases. Se establece entonces un **equilibrio** o reparto del soluto entre las dos fases inmiscibles, de manera que la distribución de soluto será en base a la diferencia de solubilidad en ambas fases, orgánica y acuosa.

En definitiva, el fundamento de la extracción será un **equilibrio de solubilidad** entre dos **fases inmiscibles**. De esta manera si consideramos un soluto A que interesa extraer, el equilibrio vendrá representado de la siguiente manera:



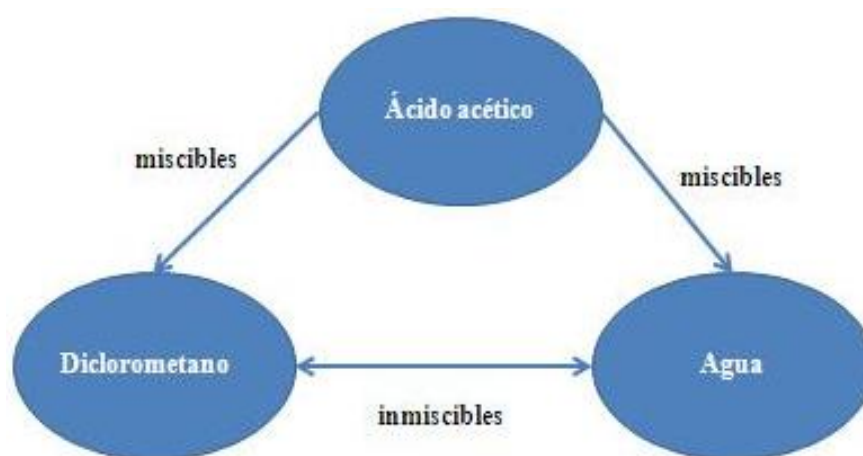
donde los subíndices se refieren a las fases acuosa y orgánica, respectivamente. De esta manera, la constante del equilibrio para una temperatura dada viene definida de la siguiente manera:

$$K = \frac{[A]_{orgánica}}{[A]_{acuosa}}$$

La constante de equilibrio K se conoce como el *coeficiente de reparto o de distribución*. Este valor depende de la temperatura de operación, del disolvente extractor utilizado y de la composición de la mezcla

En esta práctica se va a separar el ácido acético presente en una disolución acuosa haciendo uso de diclorometano o cloruro de metileno ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) como disolvente orgánico extractor. El diclorometano es un líquido incoloro, con un punto de ebullición de  $40^\circ\text{C}$ , de olor característico, de densidad a temperatura ambiente de  $1,33 \text{ g/cm}^3$  y cuya solubilidad en agua es de  $13 \text{ g/L}$  (a  $20^\circ\text{C}$ ).

El ácido acético y el agua son dos especies totalmente miscibles entre sí, es decir, con independencia de las proporciones empleadas, el resultado de mezclar estos dos componentes es siempre una disolución homogénea. Lo mismo ocurre con el sistema formado por ácido acético y diclorometano. Cualesquiera que sean las proporciones empleadas, estos dos componentes son totalmente miscibles y por tanto forman una disolución homogénea. El sistema formado por agua y diclorometano es totalmente diferente. Estos componentes son prácticamente inmiscibles, lo que quiere decir que cuando se mezclan no se disuelven el uno en el otro. De esta manera, el esquema sería el siguiente:



### 3. Reactivos y materiales

#### Materiales:

- 1 Matraz aforado de 100 ml
- 1 Tapón para el matraz aforado
- 1 Bureta de 50 ml con pie
- 1 Frasco lavador con agua destilada.
- 4 Vasos de precipitados de 100 ml.
- 1 Pipeta de doble enrase de 25 ml.
- 1 Embudo de decantación de 100 ml con pie y aro.
- 2 Probetas de 50 ml.
- 1 Erlenmeyer de 100 ml.

#### Reactivos:

- Diclorometano
- Ácido acético glacial
- Disolución de hidróxido de sodio de 0,2 M.
- Agua destilada.
- Fenolftaleína.

## 4. Procedimiento experimental

### 4.1. Parte I: Extracción simple

La práctica de extracción líquido-líquido se va a realizar de la siguiente manera:

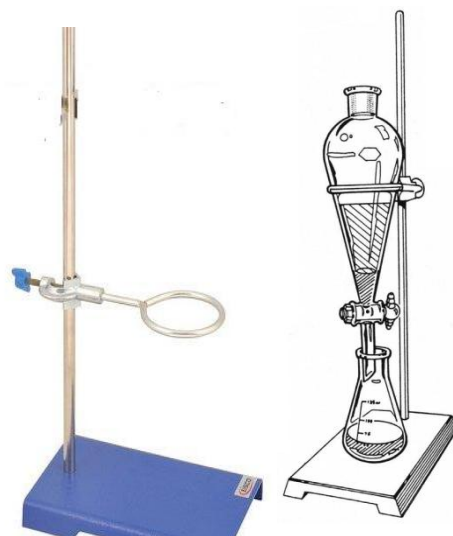
- 1) Se comienza con la preparación de 250 ml de disolución acuosa de ácido acético 0,2 M.
- 2) El ácido acético no es patrón primario por lo que la concentración de la disolución acuosa debe ser comprobada a través de una valoración ácido-base con NaOH 0,2 M como agente valorante. Se toman 25 ml de la disolución y se añaden al erlenmeyer. Se añade unas gotas de fenolftaleína y se procede a su valoración con NaOH. Este proceso se realiza dos veces, una primera de manera rápida para estimar dónde se localiza el punto final y una segunda más lenta y precisa.
- 3) En este caso se va a hacer una extracción de una sola etapa empleando 30 ml de disolución acuosa de ácido acético con 30 ml de diclorometano como disolvente orgánico. El aparato utilizado en las extracciones es el embudo de decantación o de separación que en este caso será de 100 ml, tal y como se muestra en la Figura 1. El tapón de teflón y la llave deberán estar bien ajustados para evitar pérdidas durante el proceso de la extracción.



**Figura 1.** Embudo de decantación o de separación de 100 ml.

Asegurándonos que la válvula inferior está cerrada y que el embudo se halla limpio y seco, se coloca el embudo de decantación sobre un aro que estará sujeto a un soporte con varilla metálica (ver Figura 2) y se llena por la parte superior con la mezcla líquida (30 ml diclorometano y 30 ml de la disolución acuosa de ácido acético). Sobre el aro se colocan unas gomas metálicas que permiten que el embudo se ajuste bien al mismo y también sirven para evitar posibles roturas del vidrio durante la extracción. Además se coloca debajo del embudo un vaso de precipitados para recoger el líquido en caso de rotura.





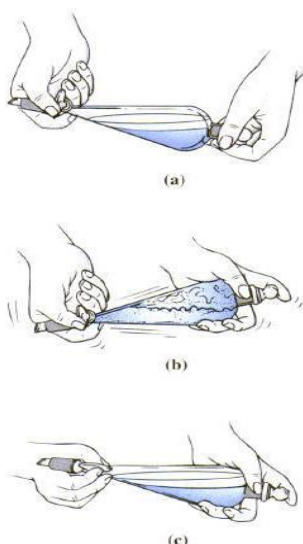
**Figura 2.** Aro y soporte para un embudo de decantación (izquierda) y el embudo de decantación en posición sobre el aro para llevar a cabo la extracción (derecha).

- 4) Una vez que el embudo se haya llenado con la mezcla, se tapa con el tapón de teflón y con cuidado se saca del aro y se procede a mezclar bien los dos líquidos para favorecer el contacto entre ambas fases y con ello la transferencia de materia del soluto de la fase acuosa a la orgánica. El embudo de decantación deberá manejarse con ambas manos tal y como se observa en la Figura 3, de manera que con una se sujeta el tapón, asegurándolo con el dedo índice y con la otra se manipula la llave.



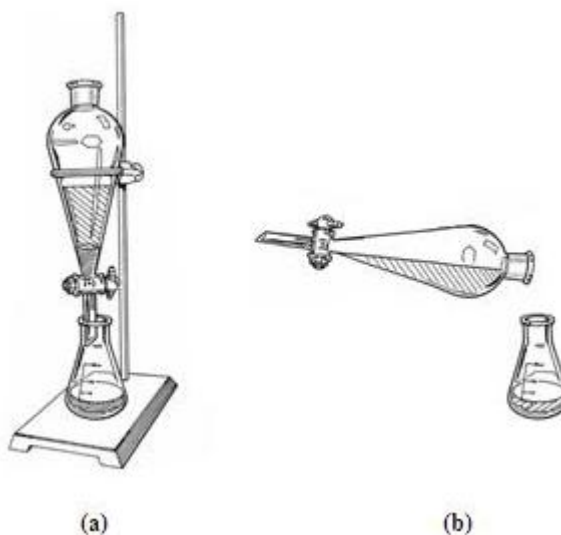
**Figura 3.** La forma correcta de manejar el embudo de decantación.

Se invierte el embudo y se abre la llave para eliminar la presión de su interior; se agita con suavidad durante uno o dos segundos y se abre de nuevo la llave. Cuando deja de aumentar perceptiblemente la presión en el interior, se aseguran el tapón y la llave y se agita enérgicamente durante uno o dos minutos. El tiempo de agitación se va aumentando progresivamente, eliminando la sobrepresión después de cada agitación. Al finalizar este proceso, se pone de nuevo en contacto con la atmósfera a través de la llave, se vuelve a cerrar ésta y se apoya, ya en posición normal sobre el aro metálico. En la siguiente figura se ilustra los movimientos a realizar durante la agitación del embudo de decantación:



**Figura 4.** Agitación del embudo de decantación con las dos manos.

- 5) Se destapa el embudo de decantación y se deja en reposo hasta que sea nítida la separación entre las dos capas de líquido (esperar al menos unos 20' para que se separen bien las fases). En la parte inferior debe tenerse siempre un vaso de precipitados de gran tamaño (de unos 100 ml podría ser lo más adecuado) con objeto de poder recoger todo el líquido en caso de que el embudo se rompiese por accidente.
- 6) Tras la separación de las dos fases líquidas por diferencias de densidad, se recoge la fase acuosa en un matraz erlenmeyer y la fase orgánica en un vaso de precipitados. La fase más densa saldrá por la parte inferior del embudo abriendo la válvula con cuidado para evitar que pase la fase menos densa de la parte superior (ver Figura 5.a). Por la boca del embudo de decantación se saca la otra fase para evitar contaminación con los restos de la fase inferior (ver Figura 5.b).



**Figura 5.** La fase más densa se saca por la parte inferior abriendo la válvula (a) mientras que la otra fase, la menos densa, se saca a través de la boca del embudo de decantación (b).

- 7) Se valora la fase acuosa, formada mayoritariamente por el agua y el ácido acético restante que no se ha extraído, con la disolución de hidróxido de sodio de 0,2 M y utilizando fenolftaleína. La operación se hace por duplicado pipeteando 10 ml de fase acuosa. De esta manera, se podrá saber la concentración de ácido acético restante en disolución acuosa.
- 8) Finalmente, a partir de ambas concentraciones de ácido acético, la inicial y final, se obtiene el rendimiento del proceso y el coeficiente de reparto K del ácido acético entre la fase acuosa y la orgánica de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento (\%)} = 100 * \left( \frac{\text{Ácido acético extraído}}{\text{Ácido acético inicio}} \right) = 100 * \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right)$$

$$K = \left( \frac{\text{Ácido acético fase orgánica final}}{\text{Ácido acético fase acuosa final}} \right) = \left( \frac{C_i - C_f}{C_f} \right)$$

donde  $C_i$  y  $C_f$  son las concentraciones de ácido acético al inicio y al final de la fase acuosa respectivamente.

#### 4.2. Parte II: Extracción múltiple

Si el valor del coeficiente de reparto K es elevado, esto quiere decir que con una sola extracción se puede pasar prácticamente todo el soluto a la fase orgánica. Sin embargo, se puede mejorar la efectividad del proceso realizando una extracción múltiple dividiendo el volumen de disolvente orgánico que hemos utilizado en la extracción simple ( $V_{org} = 30$  ml) en tres porciones de 10 ml cada una. Los pasos a realizar son los siguientes:

- 1) Realizar un lavado del embudo de decantación para la segunda parte de esta práctica. Se recomienda hacer el lavado con acetona o etanol al principio dado que estos compuestos son miscibles con los restos de diclorometano que pueden quedar en el embudo. Enjuágalo dos o tres veces con acetona o etanol. Luego enjuaga nuevamente el material con agua destilada tres o cuatro veces y sécalo. Hay que tener en cuenta que el diclorometano es muy volátil y por ello se seca con mucha rapidez.
- 2) Repite los pasos del procedimiento anterior de extracción simple, pero esta vez añadiendo 10 ml de diclorometano a 30 ml de disolución acuosa de ácido acético cuya concentración inicial es conocida (se ha hallado en la Extracción Simple).
- 3) Una vez que se han separado las dos fases, la acuosa y la orgánica, se guarda la orgánica y se trata la fase acuosa con otros 10 ml de diclorometano de nuevo.
- 4) Finalmente se vuelve a tratar la fase acuosa con otros 10 ml de diclorometano repitiendo de nuevo el procedimiento de extracción como en la extracción simple.
- 5) Una vez que se han hecho las tres extracciones con 10 ml de disolvente en cada una de ellas, se hace una valoración a la fase acuosa resultante (la que tenemos en la última extracción) con NaOH de 0,2 M. Para esta valoración, tomar alícuotas de 10 ml de fase acuosa cada una. Con ello, se determina la concentración final de ácido acético que queda en la fase acuosa. Se compara este valor con el obtenido en la extracción simple.
- 6) Se calcula el rendimiento final del proceso y se compara este valor con el obtenido en la extracción simple. Como acabas de comprobar, para un cierto volumen de disolvente

orgánico, es más eficiente dividirlo en porciones y realizar varias extracciones que realizar una única extracción simple utilizando todo el disolvente.

## 5. Precauciones durante la práctica

Durante la práctica hay que tomar una serie de precauciones para el buen transcurso de la misma que son las siguientes:

- Asegurarse de identificar cada fase correctamente y etiquetar los recipientes si es necesario.
- Usar un vaso de precipitados para la recogida del líquido en caso de rotura cuando el embudo se coloca sobre el aro para que se separen las fases y durante el proceso de llenado.
- El diclorometano es un disolvente orgánico volátil (punto de ebullición de 40 °C) que se utiliza bastante a nivel de laboratorio y que presenta una cierta peligrosidad en lo que respecta a la inhalación de vapores, ingestión, contacto con la piel y contacto con los ojos. Por ello, se debe hacer uso de la campana extractora para que haya ventilación durante el proceso y se vayan los posibles vapores.
- Dado que el diclorometano es muy volátil, al hacer la agitación se origina una fuerte sobrepresión en el interior del embudo de tal manera que se comenzará con agitaciones breves (1 o 2 segundos), abriendo la válvula para eliminar la sobrepresión y después cuando no se aprecia mucha sobrepresión, se puede aumentar el tiempo de agitación (30 segundos, 45 segundos, 1 minuto). Es importante eliminar el exceso de presión interior tras cada agitación.
- Al hacer la agitación en campana extractora, la parte del embudo donde está la válvula tiene que estar apuntando hacia el interior de la campana para evitar posibles salpicaduras en caso de que la válvula no esté bien cerrada o esté rota.
- Cuando se está realizando una extracción es conveniente guardar siempre las dos fases, hasta estar seguro de que alguna de ellas no interesa.
- El embudo de decantación debe MANEJARSE CON LAS DOS MANOS, asegurándose previamente que la válvula está bien cerrada al igual que el tapón.

## 6. Medidas de protección ambiental

- Las fases orgánicas que se obtienen tanto en la extracción simple como en la múltiple al estar formadas mayoritariamente por diclorometano, el cual es muy volátil, se colocaran todas ellas en un vaso de precipitados de gran tamaño, se tapaná con papel de filtro y se dejará en la campana extractora para que se volatilice poco a poco.

## 7. Cuestiones acerca de la práctica

- ¿Qué características debería tener un disolvente ideal para el proceso de extracción?
- En la separación de las fases ¿Cuál será la fase más densa? ¿Y la menos densa? Justifica la respuesta.
- ¿Por qué se debe destapar siempre un embudo de decantación cuando se está sacando, a través de la llave, el líquido que contiene?
- ¿Qué desventajas presentaría un disolvente cuya densidad fuese muy semejante a la del agua?

## 8. Informe final y presentación de resultados

Al final de la práctica se presentará un informe final que constará de los siguientes apartados:

- **Portada** con título de la práctica, nombre y apellidos, curso, módulo profesional y fecha de la práctica.
- **Objetivos** de la práctica.
- **Procedimiento experimental** (RESUMIDO o de forma esquemática explicando los principales pasos). Se puede hacer un pequeño dibujo del montaje.
- **Datos experimentales** tanto para la extracción simple como la múltiple. Las unidades deben ser coherentes y cada valor tiene que ir con sus unidades respectivas ( “  $V_{org}$  (ml)”, “ $V_{NaOH}$  (ml)” o “ $C_i$  (mol/l)”)
- **Cuestiones planteadas en la práctica (ver apartado 6).**
- **Cálculos de resultados.** En este apartado se presentan los cálculos realizados con sus formulas correspondientes, los valores numéricos y sus unidades correspondientes. Si se emplean tablas, estas deben ir bien etiquetadas, ejemplo: **Tabla 1. Resultados de la extracción múltiple.**
- **Análisis e interpretación de resultados.** Comparar bien los resultados de ambas extracciones.
- **Conclusiones.** Se hace en base a los resultados obtenidos y mencionar los posibles errores que se han cometido durante el desarrollo de la práctica, así como las precauciones que se han tomado. También se puede poner alguna reflexión u opinión sobre la práctica realizada (importancia que ha tenido, propuestas de mejora...).

El informe debe presentarse de manera CLARA y ORGANIZADA. Las faltas de ortografía, los errores de cálculo, en las unidades y el no explicar bien los resultados pueden penalizar en la calificación final del mismo.

**Anexo VII: Prueba final de evaluación (parte de extracción líquida):****Apellidos:****Nombre:****Módulo:****Fecha:**

**Nota:** En los problemas hay expresar los resultados en las unidades que correspondan y plantear bien los cálculos con las fórmulas y expresiones correspondientes. Si utilizas más hojas, pon el nombre en cada una de ellas y numéralas.

- 1.1. ¿Qué características tienen que cumplir los disolventes extractores a nivel general? (**1 punto**)
- 1.2. El coeficiente de distribución para Z entre n-hexano y agua es 6,25. Calcular la concentración final de Z en fase acuosa al tratar 25 ml de agua que originalmente tenía una concentración de 0,060 M en Z con los siguientes volúmenes de n-hexano: a) una porción de 25,0 ml (**0,50 puntos**) b) dos porciones de 12,5 ml (**0,50 puntos**) c) cinco porciones de 5,00 ml (**0,50 puntos**) y d) Interpretación de los resultados obtenidos (**0,50 puntos**).
- 1.3. Se desea obtener una mezcla cuya composición es: 30% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 60% de  $\text{HNO}_3$  y 10% de  $\text{H}_2\text{O}$ . Para ello mezclamos dos corrientes ácidas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 98% en peso (2% agua) y  $\text{HNO}_3$  al 90% en peso (10% agua) con 200 kg agua pura. Empleando el diagrama triangular, calcúlense las cantidades que han de añadirse de los dos ácidos concentrados y la cantidad de mezcla final que se obtiene (Nota: Utilizar  $\text{HNO}_3$  como compuesto de referencia para los balances). (**1 punto**).
- 1.4. ¿Por qué es necesario liberar la sobrepresión durante el proceso de agitación del embudo de decantación? (**0,50 puntos**) ¿Qué desventajas presentaría un disolvente orgánico cuya densidad fuese muy semejante a la del agua en el proceso de extracción líquida con embudo de decantación? (**0,50 puntos**)

**Anexo VIII: Actividades E-A y evaluación de extracción líquida:**

Actividad			Metodología		Recursos	
QUÉ voy o van a hacer Tipo de actividad	QUIÉN		t (min)	CÓMO se va a hacer	PARA QUÉ se va a hacer	CON QUÉ se va a hacer
	Prof.	Alum.				
<b>Prueba inicial de conocimientos previos</b>	X	X	10	El profesor realiza preguntas por escrito a los alumnos.	Detectar el nivel de conocimientos previos acerca de la temática que se va a tratar.	Aula de clase y fichas de los cuestionarios.
<b>Exposición de los contenidos teóricos de Extracción Líquido-Líquido</b>	X		120 <sup>8</sup>	Mediante la palabra, la explicación, la visualización de objetos o proyecciones, etc., se hará una explicación de los contenidos teóricos de extracción líquido-líquido.	Información teórica introductoria a los contenidos teóricos de extracción líquido-líquido.	Proyección en PowerPoint, visionado de vídeos de internet, uso de pizarra en el aula de clase. Documentos de teoría para los alumnos/as.
<b>Resolución de problemas de Extracción líquida</b>	X	X	25 <sup>9</sup>	El profesor plantea un problema de resolución de un caso práctico de extracción líquida para que los alumnos lo resuelvan. Después se procede a la corrección del mismo.	Obtención de datos, análisis e interpretación de la información.	Pizarra, presentación de PowerPoint, calculadora, regla y plantillas de diagrama triangular en el aula de clase.
<b>Práctica de Extracción líquida con embudo de decantación</b>		X	180 <sup>10</sup>	El profesor hace al principio una explicación previa de la práctica. Los alumnos después en pequeños grupos aplican un procedimiento experimental supervisados por el profesor.	Comprender lo visto en teoría, adquirir destrezas y alcanzar un nivel de ejecución.	Laboratorio de Química Industrial con los instrumentos y equipos para la práctica. Guión de la práctica.
<b>Prueba final de la UT 8 de Extracción<sup>11</sup></b>	X	X	120 <sup>12</sup>	El profesor realiza una prueba escrita a los alumnos de desarrollo individual acerca de lo visto en la teoría.	Conocer el grado de aprendizaje y adquisición de conocimientos teórico-prácticos de extracción líquido-líquido.	Aula de clase y fichas de las pruebas

<sup>8</sup> Las sesiones de teoría han sido de 120 minutos aproximadamente, con descansos intermedios de 5 minutos entre las dos horas. A su vez, las explicaciones teóricas se han complementado con la resolución de problemas.

<sup>9</sup> Los problemas se han planteado durante las clases de teoría y han tenido la siguiente duración: 5 minutos de explicación previa, 10 minutos para que los alumnos lo resuelvan de forma individual o con ayuda de los compañeros y 10 minutos para la resolución final.

<sup>10</sup> Las prácticas han sido realizadas por 8 grupos en dos sesiones (1 sesión por cada 4 grupos) con una duración de 3 horas para cada sesión.

<sup>11</sup> La prueba final de evaluación de la UT 8 de Extracción tuvo lugar el jueves 5 de mayo de 2016 en horario de clase y coincidiendo con nuestro regreso a las clases del máster de profesorado.

<sup>12</sup> La duración de cada parte (extracción S-L y extracción L-L) ha sido de 60 minutos cada una.

**Anexo IX: Actividades del Proyecto de Innovación con Aspen HYSYS:**

Actividad				Metodología		Recursos	
QUÉ voy o van a hacer	Obj. <sup>13</sup>	T	QUIÉN		CÓMO se va a hacer	Se hace PARA QUE	CON QUÉ se va a hacer
Tipo de actividad			Pr	Al			
<b>A1. Sesión formativa de introducción al manejo de Aspen HYSYS para extracción L-L:</b>							Proyector y pizarra.
<b>A1.1. Introducción al programa Aspen HYSYS y su aplicación en extracción L-L.</b>	1	45'	X		El profesor mediante la palabra y con proyecciones, hace una breve introducción al programa Aspen HYSYS, destacando sus principales comandos y aplicaciones en relación con lo visto en la teoría de extracción L-L. Por último, el profesor plantea tras la explicación un ejemplo práctico a resolver.	El alumno adquiera una visión general del programa Aspen HYSYS de cara a la resolución de casos prácticos de extracción L-L.	Aula de informática con el programa Aspen HYSYS instalado en los ordenadores.
<b>A1.2. Realización de un ejemplo práctico de Aspen HYSYS en extracción L-L.</b>		60'	X	X	El profesor propone un ejemplo práctico de extracción L-L para que los alumnos lo resuelvan en base a la explicación previa de la aplicación de Aspen HYSYS. El profesor supervisa a los alumnos en todo momento, aclarando dudas y otras cuestiones.	El alumno adquiera las habilidades y destrezas necesarias para la resolución de casos prácticos de Extracción L-L con el programa Aspen HYSYS.	Manual impreso de Aspen HYSYS.  Ficha del ejemplo práctico de extracción L-L para resolver.
<b>A1.3. Puesta en común y resolución del ejemplo práctico de HYSYS en extracción L-L.</b>		15'	X	X	Se hace una puesta en común de los resultados obtenidos por los alumnos en el caso de extracción L-L. El profesor plantea preguntas en todo momento para fomentar la participación.	El alumno conoce los errores cometidos y los aspectos a mejorar.	Ficha y vídeo tutorial del ejemplo práctico resuelto de extracción L-L para verificar los resultados obtenidos.

<sup>13</sup> Objetivos específicos del Proyecto de Innovación



Actividad				Metodología		Recursos	
QUÉ voy o van a hacer	Obj. <sup>14</sup>	T	QUIÉN		CÓMO se va a hacer	Se hace PARA QUE	CON QUÉ se va a hacer
Tipo de actividad			Pr	Al			
<b>A2. Práctica de extracción L-L con Aspen HYSYS:</b>							
<b>A2.1. Explicación previa de la práctica</b>		10'	X		El profesor hace una breve explicación de la práctica a realizar con Aspen HYSYS para la resolución de un caso práctico de extracción L-L.	Que los alumnos conozcan y comprendan el fundamento de la práctica y los pasos que hay que realizar en la misma.	Sala de informática con el programa Aspen HYSYS instalado en los ordenadores.
<b>A2.2. Realización de la práctica</b>	2	80'	X	X	El alumno reproduce y aplica lo demostrado por el profesor. Observación del profesor.	Comprender lo visto en la sesión formativa previa con Aspen HYSYS y adquirir destrezas. Valoración de destrezas y actitudes por el profesor.	Guión de la práctica de extracción L-L para resolver con Aspen HYSYS (Ver Anexos). Lista de observación o cotejo.
<b>A2.3. Realización del informe final</b>		30'		X	El alumno elabora el informe de la práctica	Elaboración de informe final de la práctica.	
<b>A2.4. Corrección del informe final</b>		-	X		El profesor corrige el informe final elaborado por el alumnado.	El alumno obtiene una retroalimentación y conoce los errores cometidos y aspectos a mejorar.	Ficha y video tutorial del caso práctico resuelto de extracción L-L (Ver Anexos)

Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> Objetivos específicos del Proyecto de Innovación

## **Anexo X: Guión del caso práctico de Actividad A1 (Ejemplar del profesor):**

### **1. Objetivos**

Los principales objetivos de esta práctica son los siguientes:

- d) Familiarizar al alumno con el fundamento de la extracción líquido-líquido.
- e) Familiarizar al alumno con el manejo del software Aspen HYSYS para la resolución de casos prácticos de extracción L-L.

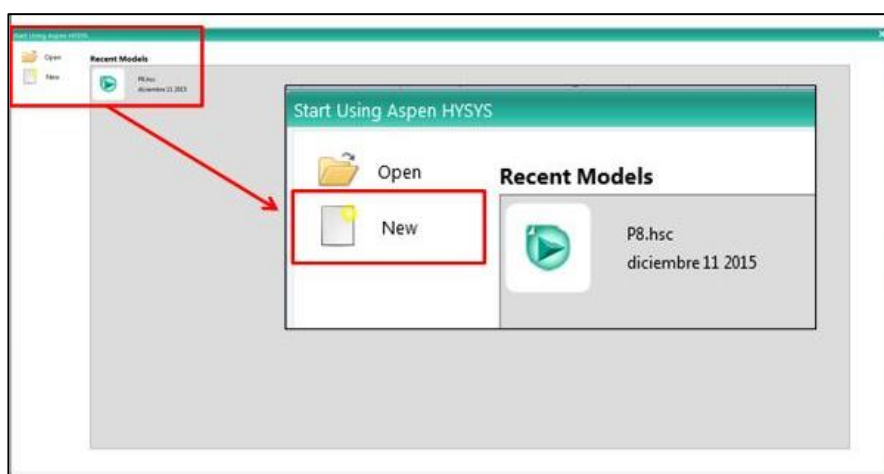
### **2. Realización de un caso práctico de extracción L-L con el programa HYSYS**

#### **2.1. Planteamiento del problema**

En esta práctica se va a realizar un caso sencillo de extracción líquido-líquido utilizando la versión de Aspen HYSYS V8.4. Para ello, se partirá de una corriente líquida a 25 °C y 1 atm que contiene un 60% en moles de agua y un 40% de acetona, con un flujo másico de 1 kg/s. Para extraer la acetona de la fase acuosa se hace uso de un disolvente extractor orgánico puro de metil-isobutil-cetona con un flujo másico de 1 kg/s y que se halla a las mismas condiciones de temperatura y presión que la alimentación.

#### **2.2. Pasos a realizar con HYSYS**

1. Se inicia el programa de Aspen HYSYS V8.4 de forma que aparece la ventana **“Start Using Aspen HYSYS”** y se hace clic en la pestaña **“New”** para iniciar un nuevo caso de estudio en HYSYS (**Case Study** en inglés), tal y como se observa en la siguiente figura:



**Figura 1.** Inicio del programa HYSYS y creación de un nuevo caso de estudio.

2. Un vez que se ha abierto un nuevo caso de estudio, nos aparece una pantalla como en la siguiente figura:

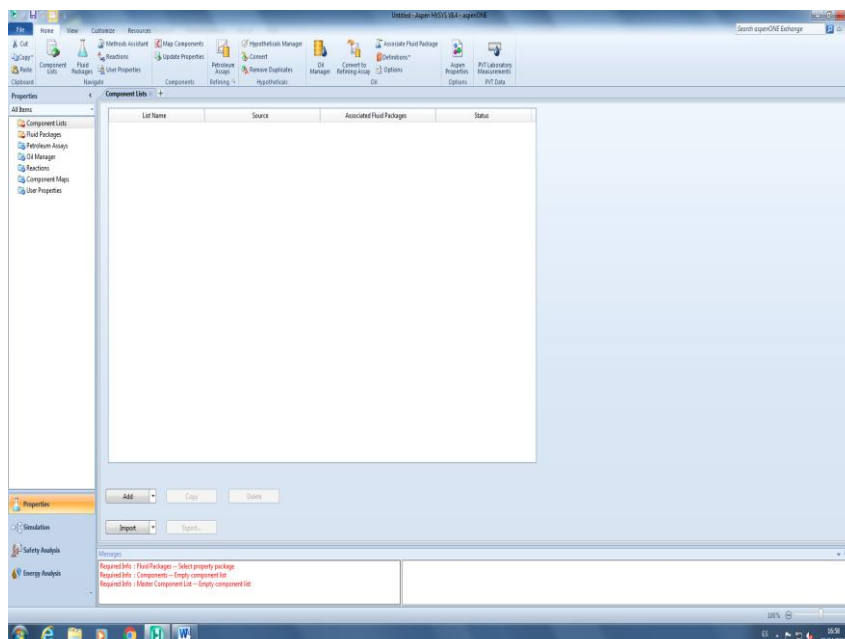


Figura 2. Nuevo caso de estudio en HYSYS.

- Se comienza el proceso con la selección de los componentes que intervienen en el proceso de extracción L-L: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés) y metil-isobutil-cetona (Methyl isobutyl ketone (MIBK) en inglés). Para ello, dentro de la pantalla de “Properties” que al abrir un caso nuevo es la primera que aparece por defecto, se selecciona la opción “Component Lists” y se hace clic en el icono “Add” (ver Figura 3):

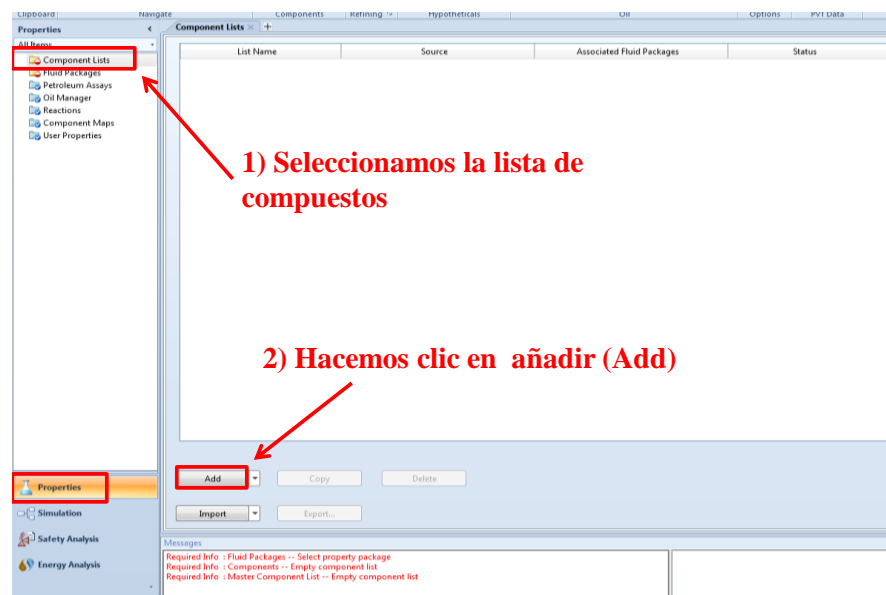


Figura 3. En propiedades (Properties), se selecciona la lista de compuestos (Component Lists) y después se hace clic en añadir (Add).

- Nos aparece una nueva ventana donde tendremos que seleccionar los tres compuestos que intervienen en proceso: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés) y metil-isobutil-cetona (Methyl isobutyl ketone (MIBK) en inglés). Para ello se seguirán los pasos que aparecen en la siguiente figura:

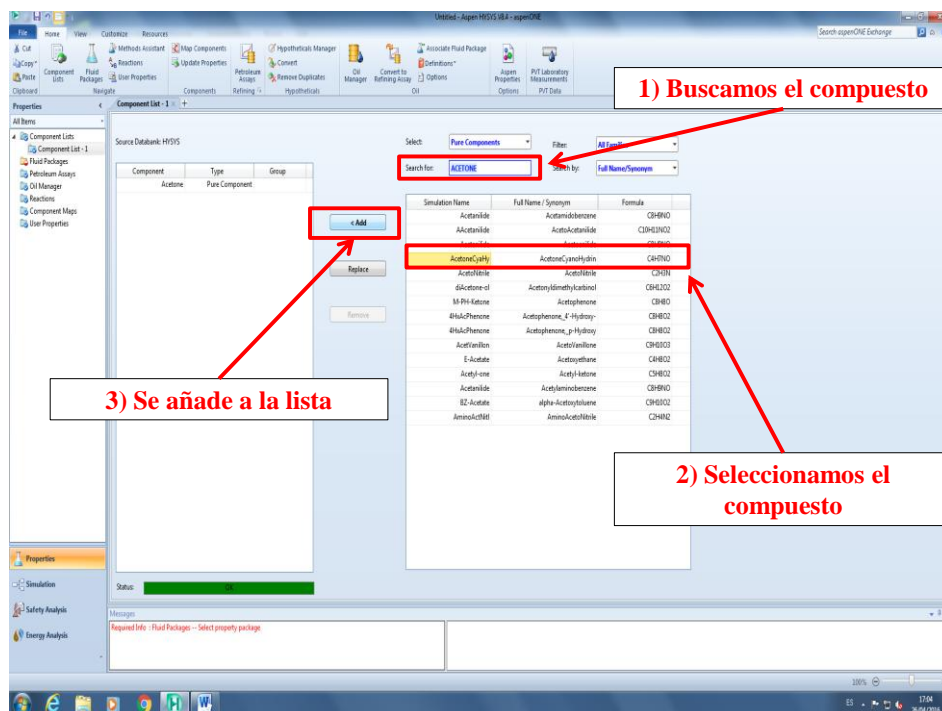


Figura 4. Selección de los compuestos que intervienen en la extracción L-L.

5. Una vez que se hayan definido los compuestos, en la misma ventana de *Properties*, seleccionamos el modelo termodinámico de propiedades que van a presentar los líquidos con los que vamos a trabajar con la opción “*Fluid Packages*” y se hace clic en el icono “*Add*” (ver Figura 5):

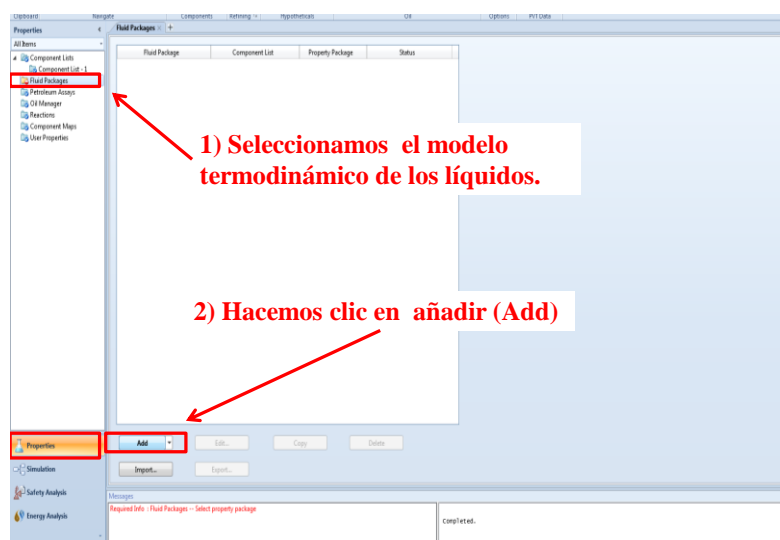


Figura 5. Selección del modelo termodinámico aplicable a los líquidos que intervienen.

6. Nos aparece una nueva ventana como se observa en la figura 6 y dentro de los modelos termodinámicos, seleccionamos el modelo NRTL (Non Random Two Liquid), ya que es el modelo más adecuado para la simulación de procesos de extracción líquido-líquido (Zaiz et al., 2013; pp. 13-14).

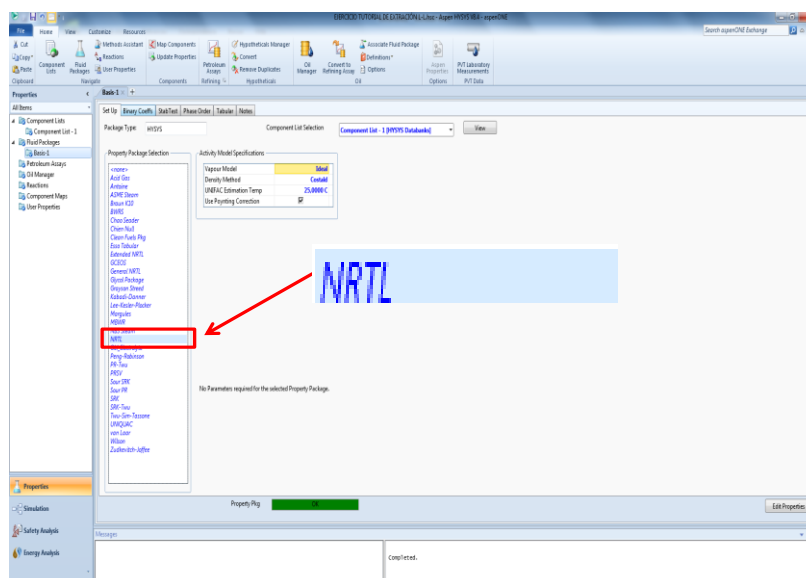


Figura 6. Selección del modelo termodinámico NRTL para el caso de extracción L-L.

- Para el caso de los procesos de extracción L-L, los coeficientes binarios de los componentes para el modelo NRTL deben ser comprobados ya que si algunos de los coeficientes no está especificado por HYSYS, la simulación del proceso no tendrá lugar. Para comprobar los coeficientes binarios, hacer clic en la pestaña “Binary Coeffs”. Aquí se observa que algunos de los coeficientes no están especificados, ya que aparecen casillas en blanco (ver Figura 7). Por ello, HYSYS puede estimar los coeficientes desconocidos haciendo uso de relaciones de equilibrio. De esta manera, para los procesos de extracción líquido-líquido, se va a seleccionar la opción de estimación de parámetros de equilibrio líquido-líquido “UNIFAC LLE” y después hacer clic en “Unknowns Only” para que HYSYS estime los coeficientes desconocidos, tal y como se observa en la Figura 8:

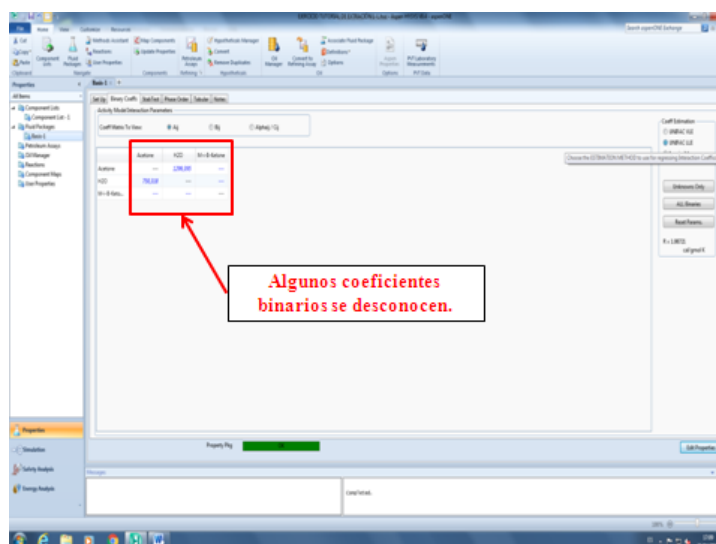


Figura 7. Coeficientes binarios de los compuestos para el modelo termodinámico NRTL. Hay presencia de coeficientes desconocidos para los tres compuestos.

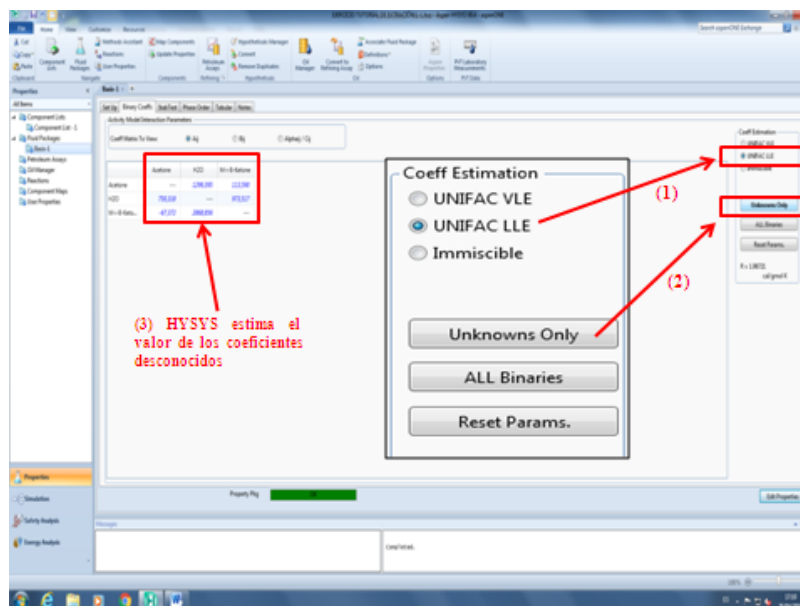


Figura 8. Estimación de los coeficientes binarios desconocidos para un proceso de extracción L-L.

8. Una vez que se han seleccionado los compuestos y el modelo termodinámico que se va a utilizar, hacemos clic en la misma pantalla en la opción “Simulation” de manera que accederemos a la pantalla que aparece en la siguiente figura:

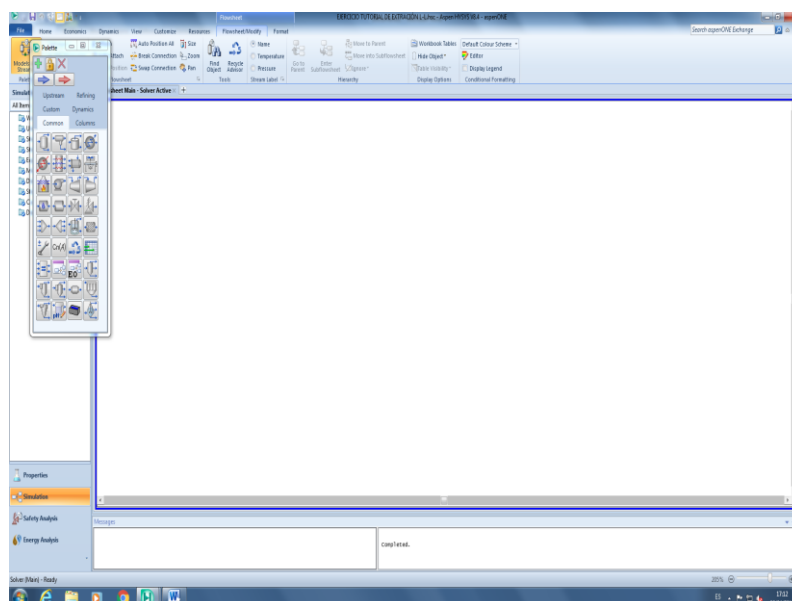


Figura 9. Pantalla de simulación del proceso de extracción L-L con Aspen HYSYS.

9. Se comienza añadiendo las corrientes líquidas tanto las de entrada (la alimentación y el disolvente extractor) como las de salida (extracto y refinado). Para ello se hace clic en la opción “Material Stream” (Flecha azul) del menú de la izquierda “Palette” y nos trasladamos a la pantalla principal “Worksheet Main- Solver Active” donde se va a representar el esquema del proceso de extracción L-L. Se hace el mismo para las 3 corrientes líquidas restantes (Ver Figura 10):

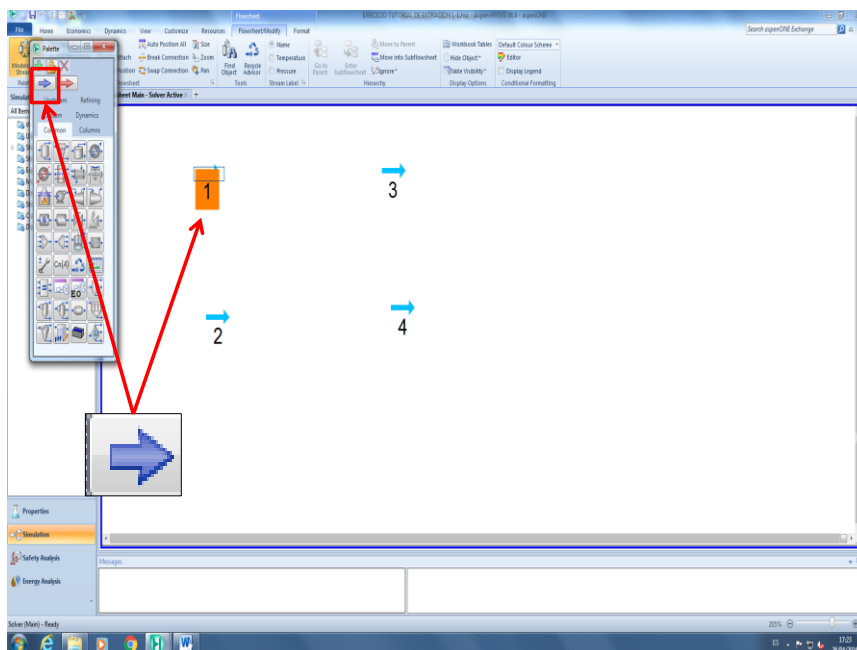


Figura 10. Definición de las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción L-L.

10. Una vez que se han definido las corrientes, le ponemos nombre a cada una de ellas, de manera que la corriente 1 pasará a llamarse *Feed* (alimentación). Para ello se hace doble clic sobre la corriente 1, de manera que aparecerá una ventana llamada *Material Stream 1* y se cambia el nombre en la casilla *Stream Name* (ver Figura 11). Se hace lo mismo para el resto de corrientes de manera que la 2 será *Solvent* (disolvente extractor), la 3 *Extracted Product* (producto extraído) y la 4 *Bottoms* (refinado) (ver Figura 12):

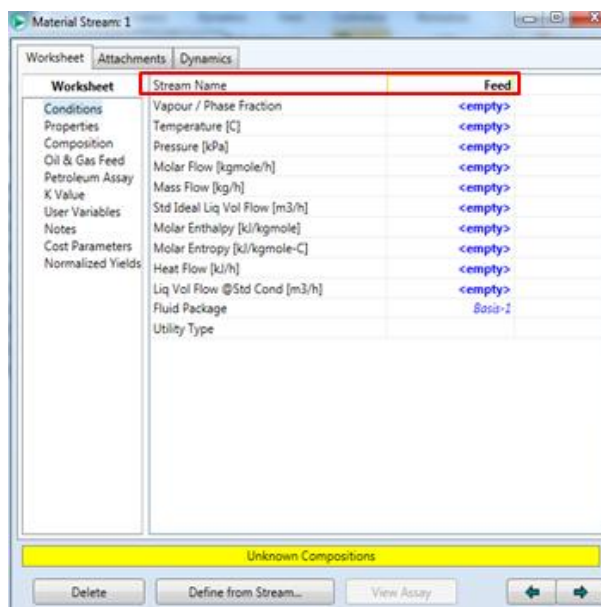
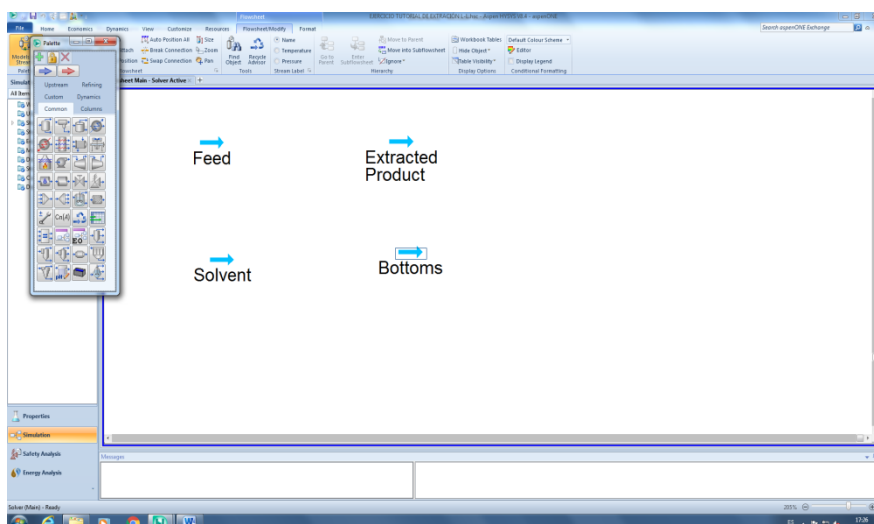
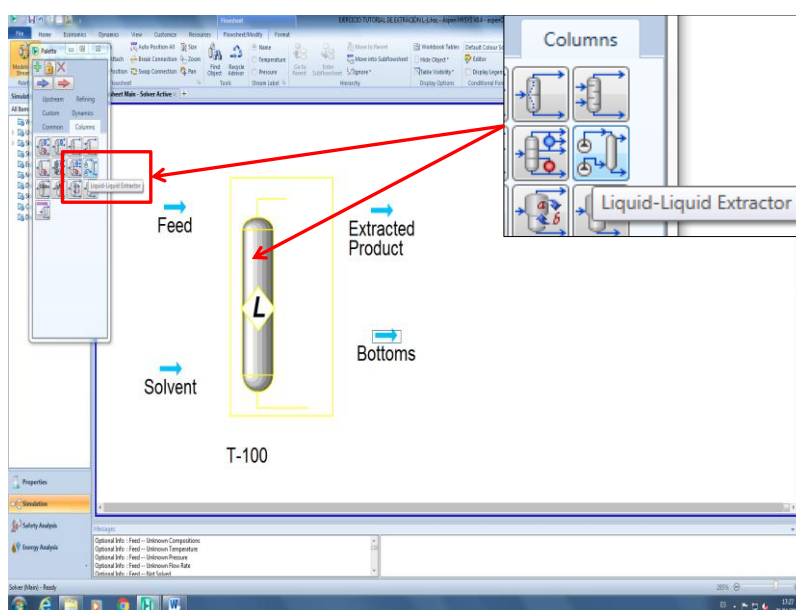


Figura 11. Menú de opciones de la corriente líquida 1 (Feed).



**Figura 12.** Cada corriente tiene un nombre concreto: 1 (Feed), 2 (Solvent), 3 (Extracted Product) y 4 (Bottoms).

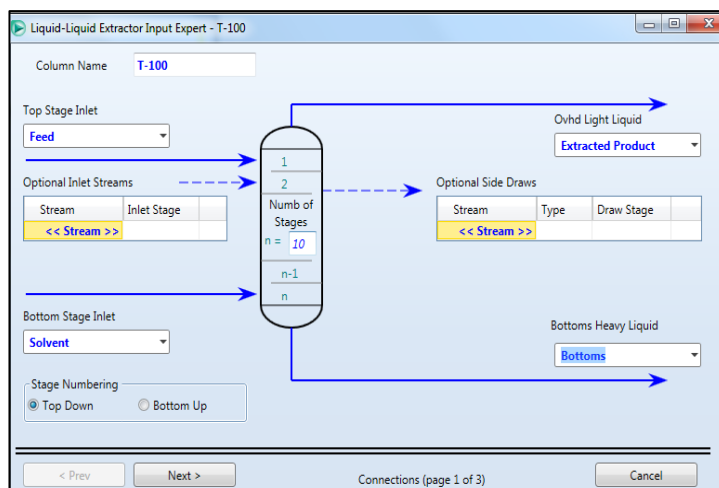
11. Ahora se procede a representar el equipo de extracción L-L, de forma que para ello se seleccionará dentro del menú "Palette" en la pestaña "Columns" la opción del extractor L-L (*Liquid-Liquid Extractor*) y hacemos clic pantalla "Worksheet Main-Solver Active" en la que se va a representar el proceso de extracción, situando el equipo entre las corrientes de entrada y de salida (ver Figura 13).



**Figura 13.** Representación del equipo de extracción L-L en HYSYS.

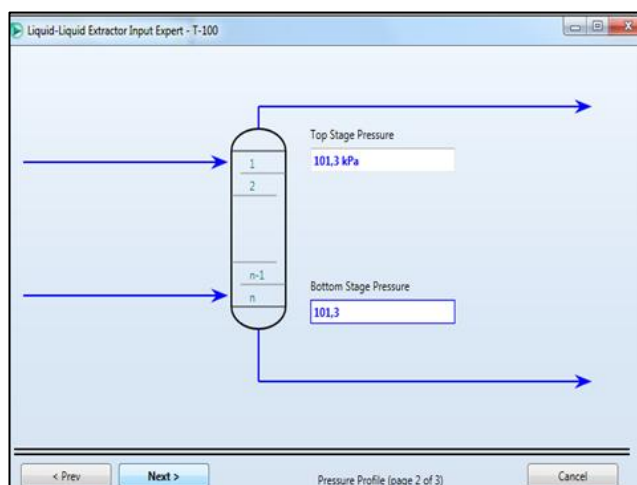
12. Si hacemos doble clic sobre el extractor L-L accederemos al menú opciones del propio equipo como se observa en la figura 14. Lo primero que se hará es conectar el equipo con las corrientes líquidas, de manera que en la corriente "Top Stage Inlet" introduciremos la alimentación (Feed), en "Bottom Stage Inlet" el disolvente extractor (Solvent), "Ovhd Light Liquid" el producto extraído (Extracted Product) y "Bottoms Heavy Liquid" el refinado (Bottoms) (ver Figura 14).





**Figura 14.** Conexión del extractor L-L a las 4 corrientes líquidas.

13. Una vez que se han conectado las 4 corrientes líquidas, se hace clic en “Next” y a continuación se introduce la presión del sistema que en este caso es constante y tiene un valor de 101,3 kPa. Se introduce tanto en el nivel superior como en el inferior (ver Figura 15):



**Figura 15.** Perfil de presión del extractor L-L.

14. Una vez que se ha insertado la presión, se vuelve a hacer clic en “Next” de manera que pasaremos a una ventana que nos da la opción de estimar el perfil de temperaturas como se observa en la figura 16. No obstante, estas estimaciones pueden ser ignoradas de tal forma que HYSYS las calculará automáticamente cuando pasemos a la simulación final del proceso. Por ello, se hace clic para finalizar en la casilla “Done”:

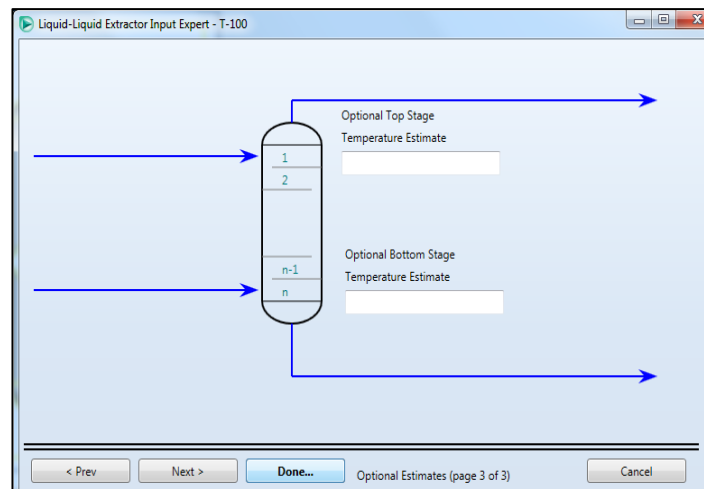


Figura 16. Perfil de temperatura del extractor L-L.

15. A continuación aparece una ventana como la de la figura 17 donde se hallan presentes todas las opciones para el extractor L-L. En este caso, se observa que el programa HYSYS establece por defecto un número de 10 etapas para el extractor líquido (Num of Stages). No obstante, para este caso nos bastaría con aproximadamente unas 4 etapas para extraer un 99% de la acetona. Por defecto, HYSYS numera las etapas en orden ascendente, estando una de las etapas en la parte superior como se observa en el esquema de la Figura 17. Sustituimos en “*Num of Stages*” el valor de 10 por un valor de 4.

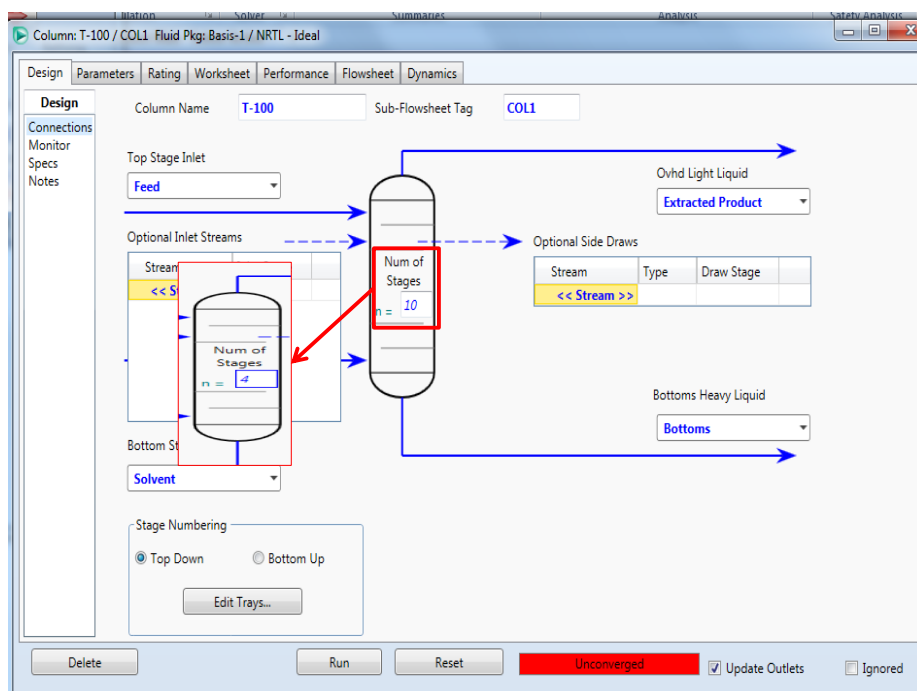


Figura 17. Ventana principal del equipo de columna de extracción líquida para el modelo termodinámico NRTL. Seleccionamos adecuadamente el número de etapas para llevar a cabo la extracción L-L.

16. Para dar comienzo a la simulación, se tiene que especificar tanto las condiciones de temperatura y presión como los flujos máxicos y composiciones para las dos corrientes de entrada que intervienen en el proceso: la alimentación (Feed) y el disolvente extractor (Solvent). Para ello, se hace doble clic sobre la corriente alimentación de manera que abrimos el menú de especificaciones para dicha corriente. Se introduce 25° C de temperatura, una presión de 101,3 kPa, un flujo máxico de 1 kg/s (3600 kg/h) (ver figura 18) y una composición del 40% molar en acetona y un 60% molar en agua (ver Figura 19):

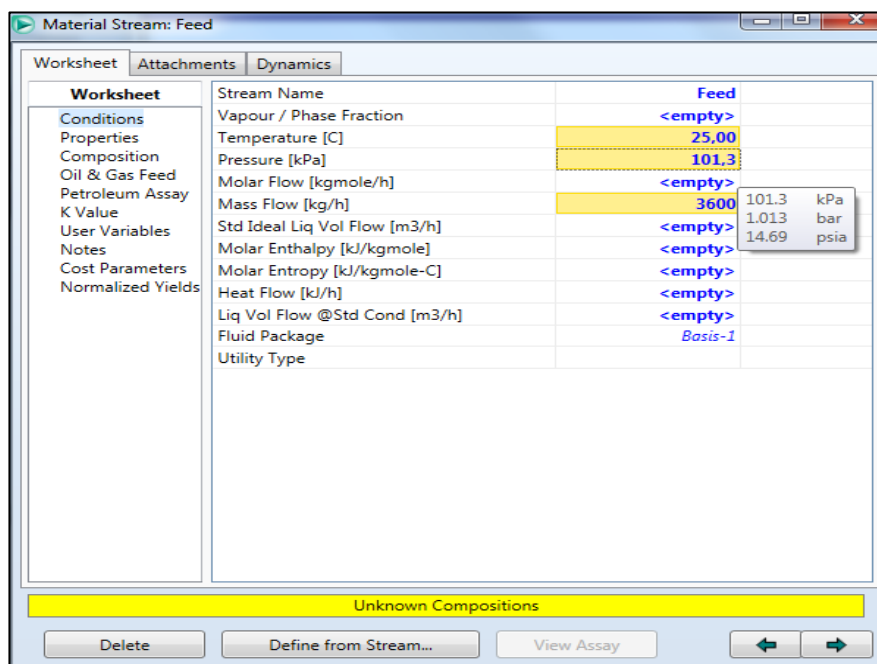


Figura 18. Se definen las condiciones de temperatura, presión y el flujo máxico para la alimentación (Feed).

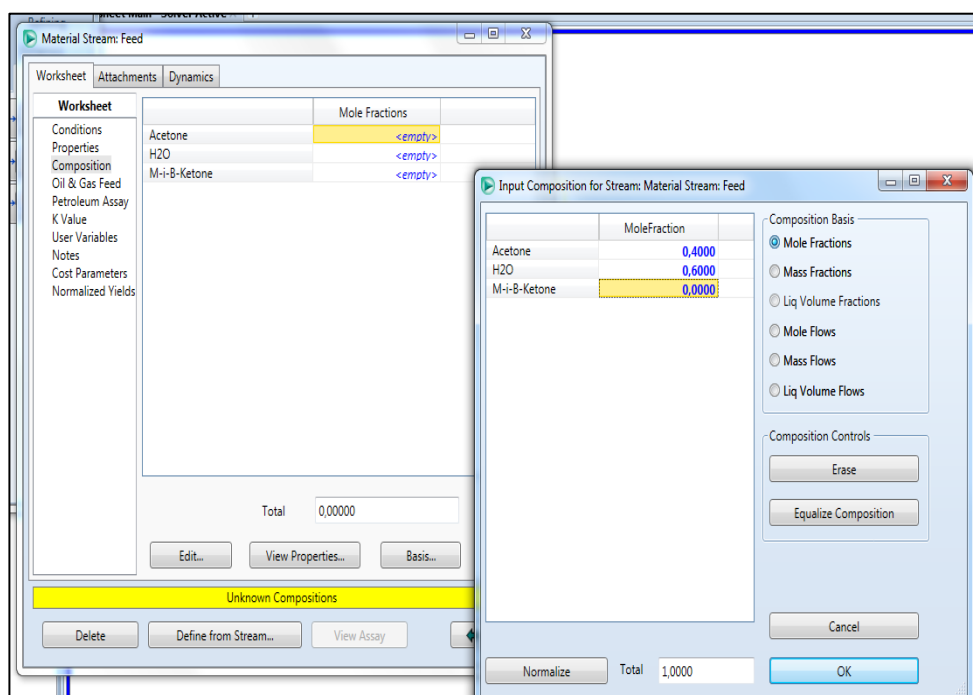


Figura 19. Se define la composición molar para la alimentación (Feed).

17. Una vez que la corriente de alimentación (Feed) esté definida, aparecerá en la parte inferior una casilla de color verde con la palabra “OK” como se observa en la siguiente figura:

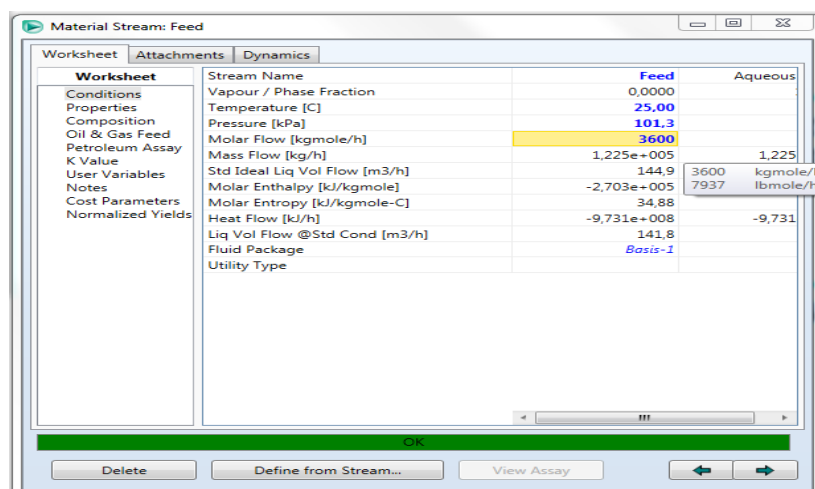


Figura 20. La alimentación (Feed) se halla definida con la advertencia de “OK” en el recuadro verde.

18. Se repiten los mismos pasos para el caso del disolvente extractor de metil-isobutil-cetona, que estará a 25 °C, 101,3 kPa, con un flujo másico de 1 kg/s y en estado puro.
19. Una vez que las corrientes de entrada y la columna de extracción L-L se hayan definidas, se procede a iniciar la simulación del proceso. Para ello, se hace doble clic sobre la columna de extracción L-L y se hace clic en la opción “Run” (ver Figura 21), indicando en la casilla inferior con el color verde con la palabra “Converged” si el proceso ha transcurrido de forma satisfactoria. Además, si el proceso ha transcurrido bien tendría que aparecer el esquema del proceso en la pantalla principal con todas las corrientes líquidas de color azul oscuro (ver Figura 22):

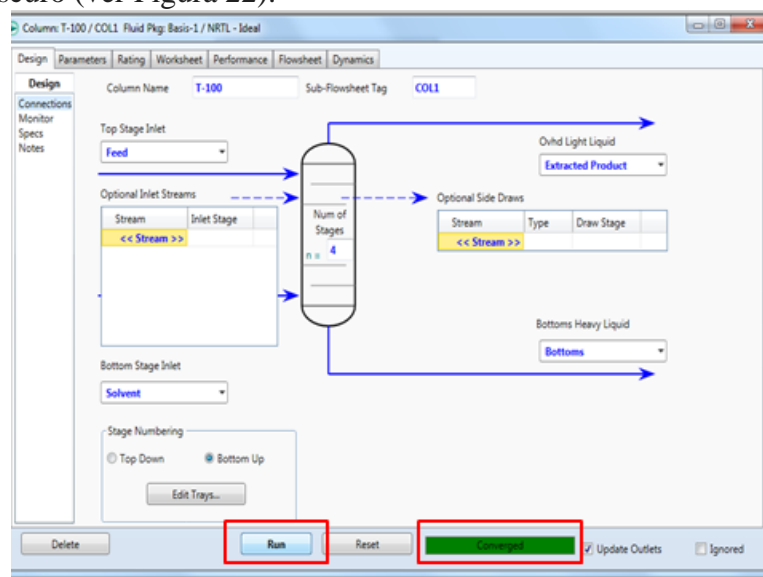
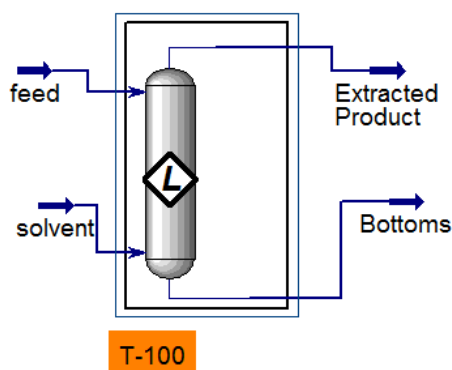


Figura 21. Se hace clic en la opción “Run” del menú del extractor L-L. Si el proceso ha transcurrido con éxito aparece la casilla de color verde con la palabra “Converged”



**Figura 22.** Si el proceso ha transcurrido de forma satisfactoria, las corrientes líquidas estarán de color azul oscuro.

20. Una vez que se ha comprobado que el proceso ha transcurrido bien, se deberían obtener los flujos y condiciones finales de T y P (Ver Figura 23), así como las composiciones (Ver Figura 24) de todas las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción: alimentación (Feed), disolvente extractor (Solvent), producto extraído (Extracted Product) y refinado final (Bottoms). Estos resultados se pueden ver haciendo clic en la pestaña “*Worksheet*” en el propio menú de la columna extractora.

Worksheet	Name	feed @COL1	solvent @COL1	Extracted Product @COL1	Bottoms @COL1
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Properties	Temperature [C]	25.0000	25.0000	24.9241	25.0329
Compositions	Pressure [kPa]	101.3250	101.3250	101.3250	101.3250
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	105.7546	35.9425	89.9449	51.7522
	Mass Flow [kg/h]	3600.0000	3600.0000	6256.9355	943.0645
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	4.2554	4.4721	7.7794	0.9481
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.703e+005	-3.253e+005	-2.838e+005	-2.850e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	34.88	138.4	93.92	7.050
	Heat Flow [kJ/h]	-2.8585e+07	-1.1693e+07	-2.5531e+07	-1.4749e+07

**Figura 23.** Representación de las condiciones finales (T, P, flujos máxicos,...) todas las corrientes líquidas.

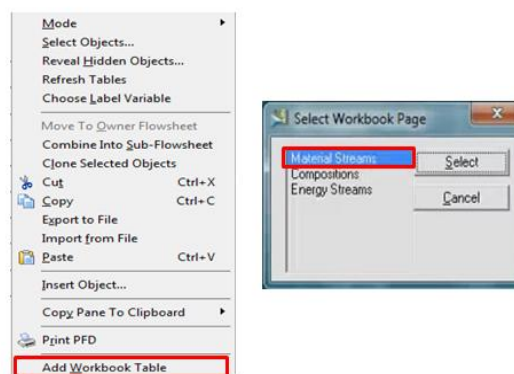
The screenshot shows a window titled 'Column: T-100 / COL1 Fluid Pkg: Basis-1 / NRTL - Ideal'. The 'Worksheet' tab is active, displaying a table with the following data:

	Feed	Solvent	Extracted Product	Bottoms
Acetone	0,4000	0,0000	0,2666	0,0000
H2O	0,6000	0,0000	0,0678	0,9975
M-i-B-Ketone	0,0000	1,0000	0,6656	0,0025

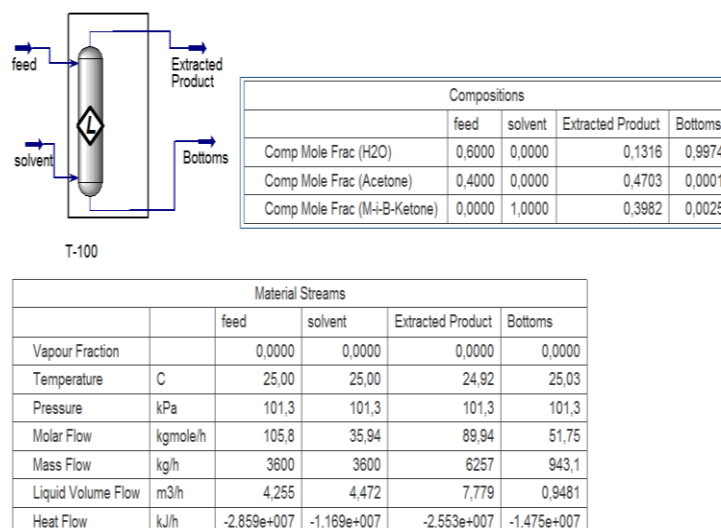
At the bottom of the window, there are buttons for 'Delete', 'Run', 'Reset', 'Converged' (highlighted in green), 'Update Outlets' (checked), and 'Ignored'.

**Figura 24.** Representación de las composiciones de todas las corrientes líquidas.

21. También hay una opción de representar sobre la pantalla de simulación junto al extractor L-L y las corrientes, una tabla resumen con los resultados del proceso de extracción L-L. Para ello, sobre la pantalla donde está representado el extractor líquido, se hace clic en el botón derecho y se selecciona la opción “Add Workbook Table”, donde nos sale una ventana titulada “Select Workbook Page”, de manera que seleccionamos primero “Material Streams” (ver Figura 25) para hallar los datos de las corrientes (temperatura, caudales,...). Le damos a “Select” y nos aparece una tabla sobre la pantalla, de tal manera que la podemos mover para que quede bien situada junto al diagrama de extracción L-L (ver Figura 26). Se hace lo mismo para obtener una tabla de las composiciones finales seleccionando “Compositions” y después de darle a “Select”.



**Figura 25.** Opción de HYSYS que nos permite obtener las tablas de los resultados de la simulación.



**Figura 26.** Representación del caso práctico de HYSYS con las tablas de resultados y el esquema del proceso de extracción L-L.

22. Guardamos el archivo con el nombre *Ejemplo práctico HYSYS*.

### 3. Referencias bibliográficas

- Zaiz, T., Lanez, H. y Kechida, B. (2013). Aspen HYSYS simulation and comparison between organic solvents (sulfolane and DMSO) used for benzene extraction. *International Journal of Chemical and Petroleum Sciences*, 2(1), 10-19.

## **Anexo XI: Guión del caso práctico de Actividad A1 (Ejemplar del alumno/a)**

### 1. Objetivos

Los principales objetivos de esta práctica son los siguientes:

- Familiarizar al alumno con el fundamento de la extracción líquido-líquido.
- Familiarizar al alumno con el manejo del software Aspen HYSYS para la resolución de casos prácticos de extracción L-L.

### 2. Realización de un caso práctico de extracción L-L con el programa HYSYS

#### 2.1. Planteamiento del problema

En esta práctica se va a realizar un caso sencillo de extracción líquido-líquido utilizando la versión de Aspen HYSYS V8.4. Para ello, se partirá de una corriente líquida a 25 °C y 1 atm que contiene un 60% en moles de agua y un 40% de acetona, con un flujo másico de 1 kg/s. Para extraer la acetona de la fase acuosa se hace uso de un disolvente extractor orgánico puro de metil-isobutil-cetona con un flujo másico de 1 kg/s y que se halla a las mismas condiciones de temperatura y presión que la alimentación.

## 2.2.Pasos a realizar con HYSYS

1. Se inicia el programa de Aspen HYSYS V8.4 de forma que aparece la ventana “*Start Using Aspen HYSYS*” y se hace clic en la pestaña “*New*” para iniciar un nuevo caso de estudio en HYSYS (Case Study en inglés).
2. Se comienza el proceso con la selección de los componentes que intervienen en el proceso de extracción L-L: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés) y metil-isobutil-cetona (Methyl isobutyl ketone (MIBK) en inglés). Para ello, dentro de la pantalla de “*Properties*” que al abrir un caso nuevo es la primera que aparece por defecto, se selecciona la opción “*Component Lists*” y se hace clic en el icono “*Add*”.
3. Nos aparece una nueva ventana donde tendremos que seleccionar los tres compuestos que intervienen en proceso: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés) y metil-isobutil-cetona (Methyl isobutyl ketone (MIBK) en inglés).
4. Una vez que se hayan definido los compuestos, en la misma ventana de *Properties*, seleccionamos el modelo termodinámico de propiedades que van a presentar los líquidos con los que vamos a trabajar con la opción “*Fluid Packages*” y se hace clic en el icono “*Add*”. Dentro de los modelos termodinámicos, seleccionamos el modelo NRTL (Non Random Two Liquid), ya que es el modelo más adecuado para la simulación de procesos de extracción líquido-líquido.
5. Para el caso de los procesos de extracción L-L, los coeficientes binarios de los componentes para el modelo NRTL deben ser comprobados ya que si algunos de los coeficientes no está especificado por HYSYS, la simulación del proceso no tendrá lugar. Para comprobar los coeficientes binarios, hacer clic en la pestaña “*Binary Coeffs*”. Aquí se observa que algunos de los coeficientes no están especificados, ya que aparecen casillas en blanco. Por ello, HYSYS puede estimar los coeficientes desconocidos haciendo uso de relaciones de equilibrio. De esta manera, para los procesos de extracción líquido-líquido, se va a seleccionar la opción de estimación de parámetros de equilibrio líquido-líquido “*UNIFAC LLE*” y después hacer clic en “*Unknowns Only*” para que HYSYS estime los coeficientes desconocidos.
6. Una vez que se han seleccionado los compuestos y el modelo termodinámico que se va a utilizar, hacemos clic en la misma pantalla en la opción “*Simulation*” de manera que accederemos a la pantalla donde se va a llevar a cabo el proceso de simulación.
7. Se comienza añadiendo las corrientes líquidas tanto las de entrada (la alimentación y el disolvente extractor) como las de salida (extracto y refinado). Para ello se hace clic en la opción “*Material Stream*” (Flecha azul) del menú de la izquierda “*Palette*” y nos trasladamos a la pantalla principal “*Worksheet Main- Solver Active*” donde se va a representar el esquema del proceso de extracción L-L. Se hace el mismo para las 3 corrientes líquidas restantes.
8. Una vez que se han definido las corrientes, le ponemos nombre a cada una de ellas, de manera que la corriente 1 pasará a llamarse *Feed* (alimentación). Para ello se hace doble clic sobre la corriente 1, de manera que aparecerá una ventana llamada *Material Stream 1* y se cambia el nombre en la casilla *Stream Name*. Se hace lo mismo para el resto de



corrientes de manera que la 2 será *Solvent* (disolvente extractor), la 3 *Extracted Product* (producto extraído) y la 4 *Bottoms* (refinado).

9. Ahora se procede a representar el equipo de extracción L-L, de forma que para ello se seleccionará dentro del menú "*Palette*" en la pestaña "*Columns*" la opción del extractor L-L (*Liquid-Liquid Extractor*) y hacemos clic pantalla "*Worksheet Main-Solver Active*" en la que se va a representar el proceso de extracción, situando el equipo entre las corrientes de entrada y de salida.
10. Si hacemos doble clic sobre el extractor L-L accederemos al menú opciones del propio equipo. Lo primero que se hará es conectar el equipo con las corrientes líquidas, de manera que en la corriente "*Top Stage Inlet*" introduciremos la alimentación (Feed), en "*Bottom Stage Inlet*" el disolvente extractor (Solvent), "*Overhead Light Liquid*" el producto extraído (Extracted Product) y "*Bottoms Heavy Liquid*" el refinado (Bottoms).
11. Una vez que se han conectado las 4 corrientes líquidas, se hace clic en "*Next*" y a continuación se introduce la presión del sistema que en este caso es constante y tiene un valor de 101,3 kPa. Se introduce tanto en el nivel superior como en el inferior.
12. Una vez que se ha insertado la presión, se vuelve a hacer clic en "*Next*" de manera que pasaremos a una ventana que nos da la opción de estimar el perfil de temperaturas. No obstante, estas estimaciones pueden ser ignoradas de tal forma que HYSYS las calculará automáticamente cuando pasemos a la simulación final del proceso. Por ello, se hace clic para finalizar en la casilla "*Done*".
13. A continuación aparece una ventana donde se hallan presentes todas las opciones para el extractor L-L. En este caso, se observa que el programa HYSYS establece por defecto un número de 10 etapas para el extractor líquido (Num of Stages). No obstante, para este caso nos bastaría con aproximadamente unas 4 etapas para extraer un 99% de la acetona. Por defecto, HYSYS numera las etapas en orden ascendente, estando una de las etapas en la parte superior. Sustituimos en "*Num of Stages*" el valor de 10 por un valor de 4.
14. Para dar comienzo a la simulación, se tiene que especificar tanto las condiciones de temperatura y presión como los flujos másicos y composiciones para las dos corrientes de entrada que intervienen en el proceso: la alimentación (Feed) y el disolvente extractor (Solvent). Para ello, se hace doble clic sobre la corriente alimentación de manera que abrimos el menú de especificaciones para dicha corriente. Se introduce 25° C de temperatura, una presión de 101,3 kPa, un flujo másico de 1 kg/s (3600 kg/h) y una composición del 40% molar en acetona y un 60% molar en agua.
15. Una vez que la corriente de alimentación (Feed) esté definida, aparecerá en la parte inferior una casilla de color verde con la palabra "*OK*".
16. Se repiten los mismos pasos para el caso del disolvente extractor de metil-isobutil-cetona, que estará a 25 °C, 101,3 kPa, con un flujo másico de 1 kg/s y en estado puro.
17. Una vez que las corrientes de entrada y la columna de extracción L-L se hayan definidas, se procede a iniciar la simulación del proceso. Para ello, se hace doble clic sobre la columna de extracción L-L y se hace clic en la opción "*Run*", indicando en la casilla inferior con el color verde con la palabra "*Converged*" si el proceso ha transcurrido de

forma satisfactoria. Además, si el proceso ha transcurrido bien tendría que aparecer el esquema del proceso en la pantalla principal con todas las corrientes líquidas de color azul oscuro.

18. Una vez que se ha comprobado que el proceso ha transcurrido bien, se deberían obtener los flujos y condiciones finales de T y P, así como las composiciones de todas las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción: alimentación (Feed), disolvente extractor (Solvent), producto extraído (Extracted Product) y refinado final (Bottoms). Estos resultados se pueden ver haciendo clic en la pestaña “*Worksheet*” en el propio menú de la columna extractora.
19. También hay una opción de representar sobre la pantalla de simulación junto al extractor L-L y las corrientes, una tabla resumen con los resultados del proceso de extracción L-L. Para ello, sobre la pantalla donde está representado el extractor líquido, se hace clic en el botón derecho y se selecciona la opción “*Add Workbook Table*”, donde nos sale una ventana titulada “*Select Workbook Page*”, de manera que seleccionamos primero “*Material Streams*” para hallar los datos de las corrientes (temperatura, caudales,...). Le damos a “*Select*” y nos aparece una tabla sobre la pantalla, de tal manera que la podemos mover para que quede bien situada junto al diagrama de extracción L-L. Se hace lo mismo para obtener una tabla de las composiciones finales seleccionando “*Compositions*” y después de darle a “*Select*”.
20. Guardamos el archivo con el nombre *Ejemplo práctico HYSYS*.

### 3. Informe a presentar

El informe a entregar deberá contener los siguientes apartados:

1. Portada con el título de la práctica, nombre y apellidos, curso.
2. Diagrama de flujo.
3. Las tablas (“*WORKBOOK: CASE (MAIN)*”, solo) con las propiedades y composiciones de todas las corrientes.

## **Anexo XII: Guión del caso práctico de Actividad A2 (Ejemplar del profesor)**

### 1. Objetivos

Los principales objetivos de esta práctica son los siguientes:

- A) Familiarizar al alumno con el fundamento de la extracción líquido-líquido.
- B) Familiarizar al alumno con el manejo del software Aspen HYSYS para la resolución de casos prácticos de extracción L-L.

### 2. Realización de un caso práctico de extracción L-L con el programa HYSYS

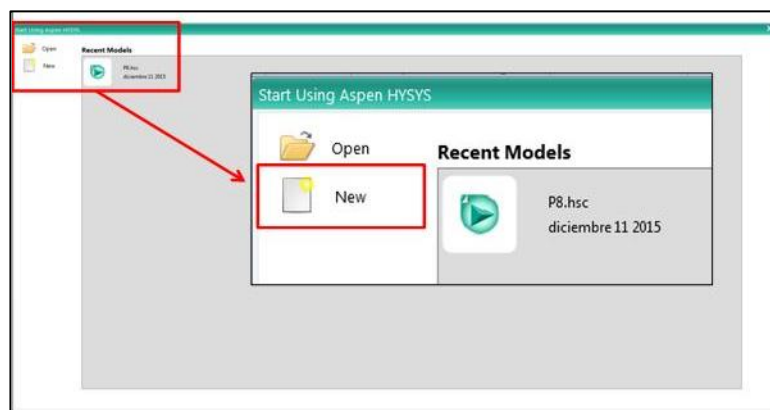
#### 2.1. Planteamiento del problema

En esta práctica se va a realizar un caso sencillo de extracción líquido-líquido utilizando la versión de Aspen HYSYS V8.4. Para ello, se partirá de una corriente líquida de alimentación a 18,5 °C y 1 atm que contiene un 25% en peso de agua, un 20% de acetona y un 55% de ácido acético con un flujo másico de 100 kg/h. Se utiliza como disolvente orgánico el cloroformo

puro con un flujo másico de 350 kg/h y que se halla a las mismas condiciones de temperatura y presión que la alimentación.

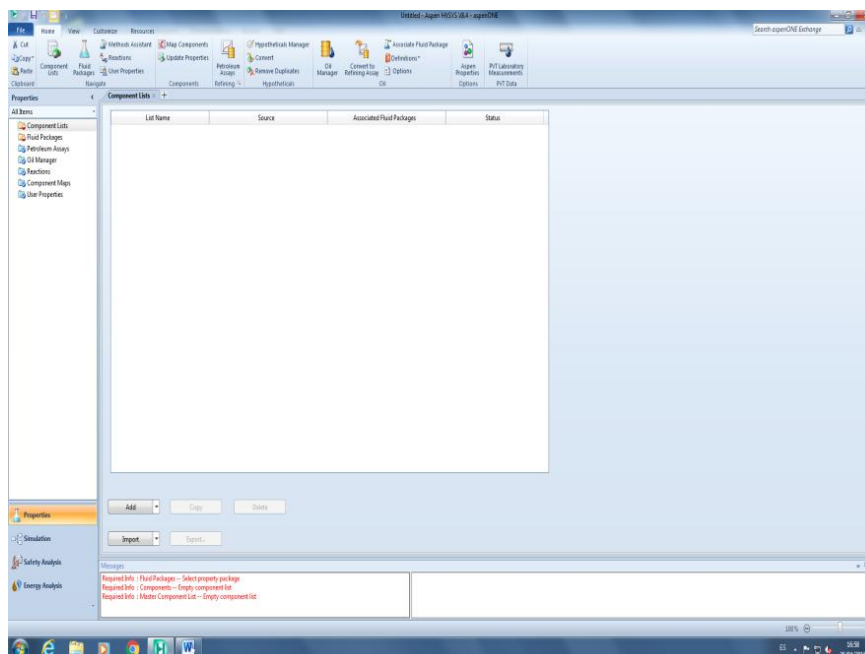
## 2.2. Pasos a realizar con HYSYS

1. Se inicia el programa de Aspen HYSYS V8.4 de forma que aparece la ventana **“Start Using Aspen HYSYS”** y se hace clic en la pestaña **“New”** para iniciar un nuevo caso de estudio en HYSYS (**Case Study** en inglés), tal y como se observa en la siguiente figura:



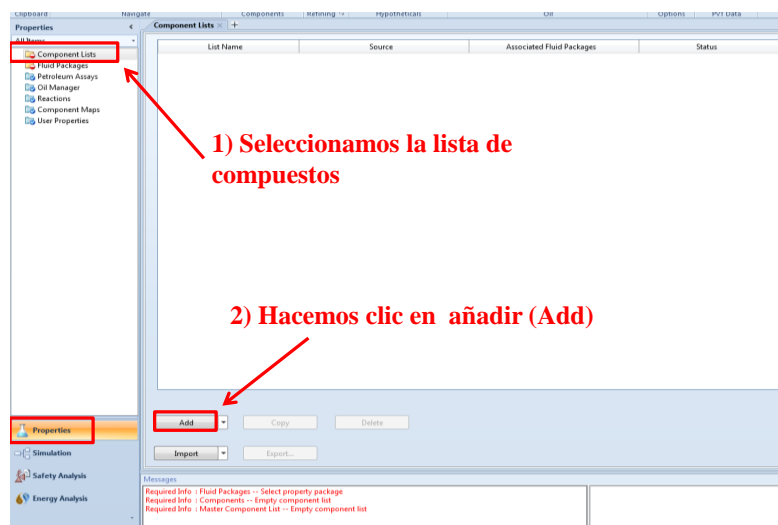
**Figura 1.** Inicio del programa HYSYS y creación de un nuevo caso de estudio.

2. Un vez que se ha abierto un nuevo caso de estudio, nos aparece una pantalla como en la siguiente figura:



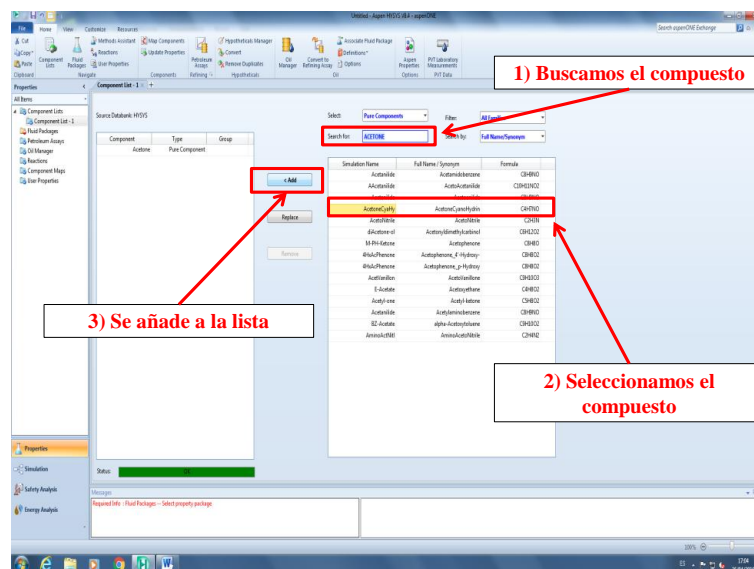
**Figura 2.** Nuevo caso de estudio en HYSYS.

3. Se comienza el proceso con la selección de los componentes que intervienen en el proceso de extracción L-L: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés), ácido acético (Acetic Acid en inglés) y cloroformo (Chloroform en inglés). Para ello, dentro de la pantalla de **“Properties”** que al abrir un caso nuevo es la primera que aparece por defecto, se selecciona la opción **“Component Lists”** y se hace clic en el icono **“Add”** (ver Figura 3):



**Figura 3.** En propiedades (*Properties*), se selecciona la lista de compuestos (*Component Lists*) y después se hace clic en añadir (*Add*).

4. Nos aparece una nueva ventana donde tendremos que seleccionar los cuatro compuestos que intervienen en proceso: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés), ácido acético (Acetic Acid en inglés) y cloroformo (Chloroform en inglés). Para ello, se seguirán los pasos que aparecen en la siguiente figura:



**Figura 4.** Selección de los compuestos que intervienen en la extracción L-L.

5. Una vez que se hayan definido los compuestos, en la misma ventana de *Properties*, seleccionamos el modelo termodinámico de propiedades que van a presentar los líquidos con los que vamos a trabajar con la opción “*Fluid Packages*” y se hace clic en el icono “*Add*”. (ver Figura 5):

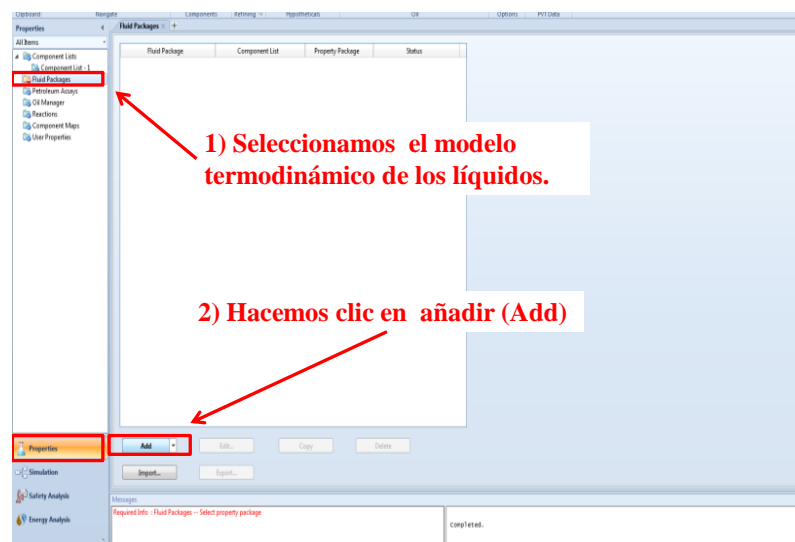


Figura 5. Selección del modelo termodinámico aplicable a los líquidos que intervienen.

6. Dentro de los modelos termodinámicos, seleccionamos el modelo UNIQUAC (UNIversal QUAsiChemical), que es el modelo que da una mejor estimación de datos de equilibrio en el caso de líquidos (Cuevas et al., 2010, p. 4). Seleccionamos en “Vapour model” la opción “PR” como se observa en la siguiente figura:

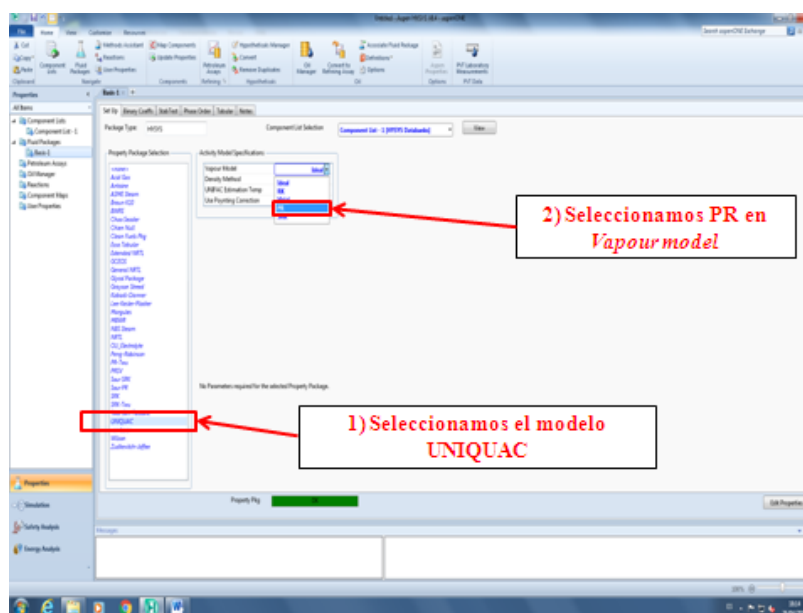
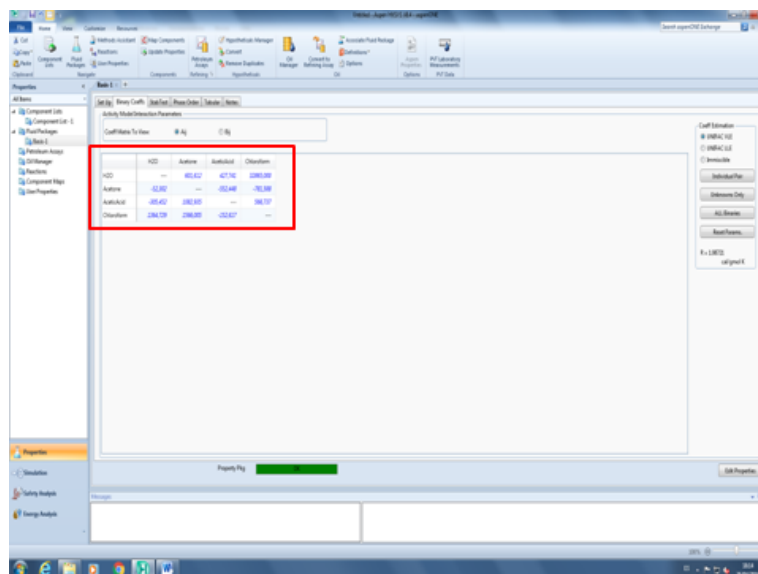


Figura 6. Selección del modelo termodinámico UNIQUAC para el caso de extracción L-L.

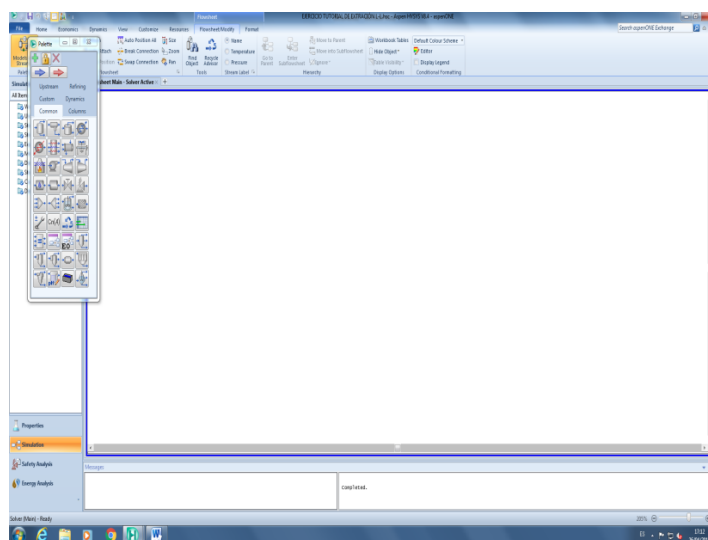
7. Para el caso de los procesos de extracción L-L, los coeficientes binarios de los componentes para el modelo UNIQUAC al igual que pasaba con el NRTL deben ser comprobados, accediendo a la pestaña “Binary Coeffs” ya que si algunos de los coeficientes no está especificado por HYSYS, la simulación del proceso no tendrá lugar. En este caso se observa que los coeficientes binarios están todos determinados para los 4 compuestos (Ver Figura 7) de manera que se puede cerrar y pasar a la simulación.



	K22	Active	Available	Observed
K22	---	853.62	45716	2380.59
Active	63.82	---	15248	762.88
Available	455.42	232.95	---	386.73
Observed	2384.19	2386.85	232.67	---

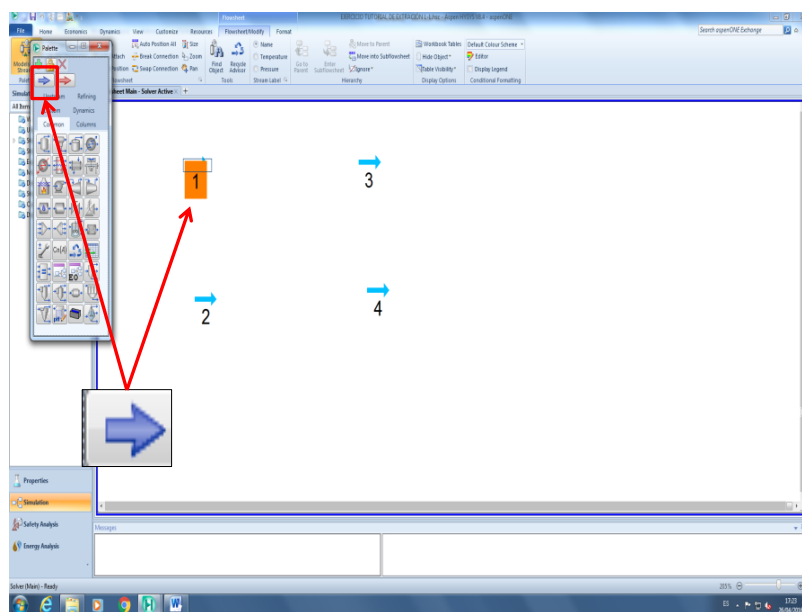
**Figura 7.** Coeficientes binarios de los compuestos para el modelo termodinámico NRTL. En este caso están todos definidos para los 4 compuestos.

- Para pasar a la simulación, hacemos clic en la misma pantalla en la opción “*Simulation*” de manera que accederemos a la pantalla donde se va a llevar a cabo el proceso de simulación (Ver Figura 8):



**Figura 8.** Pantalla de simulación del proceso de extracción L-L con Aspen HYSYS.

- Se comienza añadiendo las corrientes líquidas tanto las de entrada (la alimentación y el disolvente extractor) como las de salida (extracto y refinado). Para ello se hace clic en la opción “*Material Stream*” (Flecha azul) del menú de la izquierda “*Palette*” y nos trasladamos a la pantalla principal “*Worksheet Main- Solver Active*” donde se va a representar el esquema del proceso de extracción L-L. Se hace el mismo para las 3 corrientes líquidas restantes. (Ver Figura 9):



**Figura 9.** Definición de las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción L-L.

10. Una vez que se han definido las corrientes, le ponemos nombre a cada una de ellas, de manera que la corriente 1 pasará a llamarse “*alimentación*”. Para ello se hace doble clic sobre la corriente 1, de manera que aparecerá una ventana llamada *Material Stream 1* y se cambia el nombre en la casilla *Stream Name*. Se hace lo mismo para el resto de corrientes de manera que la 2 será “*disolvente*”, la 3 “*destilado*” y la 4 “*fondos*”. Ahora se procede a representar el equipo de extracción L-L, de forma que para ello se seleccionará dentro del menú “*Palette*” en la pestaña “*Columns*” la opción del extractor L-L (*Liquid-Liquid Extractor*) y hacemos clic pantalla “*Worksheet Main-Solver Active*” en la que se va a representar el proceso de extracción, situando el equipo entre las corrientes de entrada y de salida.
11. Si hacemos doble clic sobre el extractor L-L accederemos al menú opciones del propio equipo. Lo primero que se hará es conectar el equipo con las corrientes líquidas, de manera que en la corriente “*Top Stage Inlet*” introduciremos la alimentación, en “*Bottom Stage Inlet*” el disolvente, en “*Overhead Light Liquid*” el destilado y “*Bottoms Heavy Liquid*” la corriente fondos. En este caso se selecciona la opción “*Bottom Up*” de la opción “*Stage Numbering*” si queremos que la corriente pesada (*Bottoms Heavy Liquid*) salga por la parte superior. Hay que tener en cuenta que el cloroformo es más denso que el agua (densidad del cloroformo  $1483 \text{ kg/m}^3$  frente a la de agua con  $1000 \text{ kg/m}^3$ ) (Ver Figura 10)

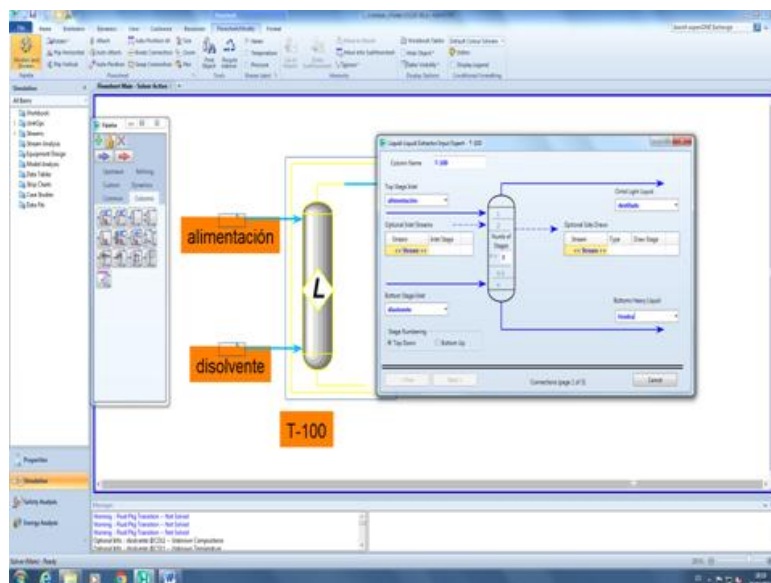


Figura 10. Conexión de las corrientes líquidas con equipo extractor L-L.

12. Una vez que se han conectado las 4 corrientes líquidas, se hace clic en “Next” y a continuación se introduce la presión del sistema (Ver Figura 11) que en este caso es constante y tiene un valor de 101,3 kPa. Se introduce tanto en el nivel superior como en el inferior.

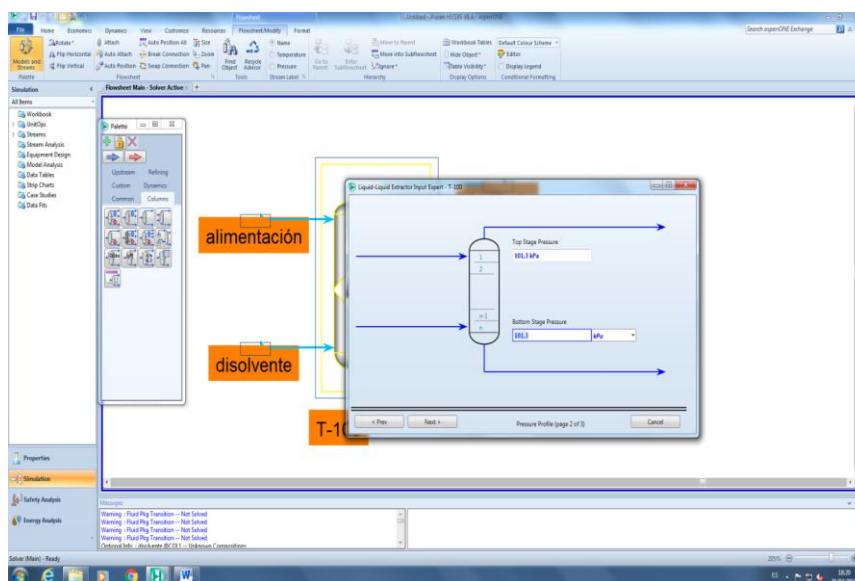
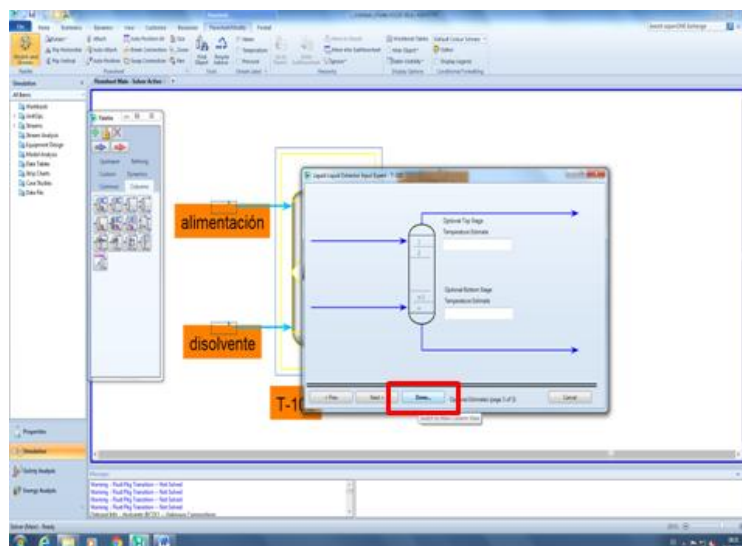


Figura 11. Determinación de la presión en el extractor L-L.

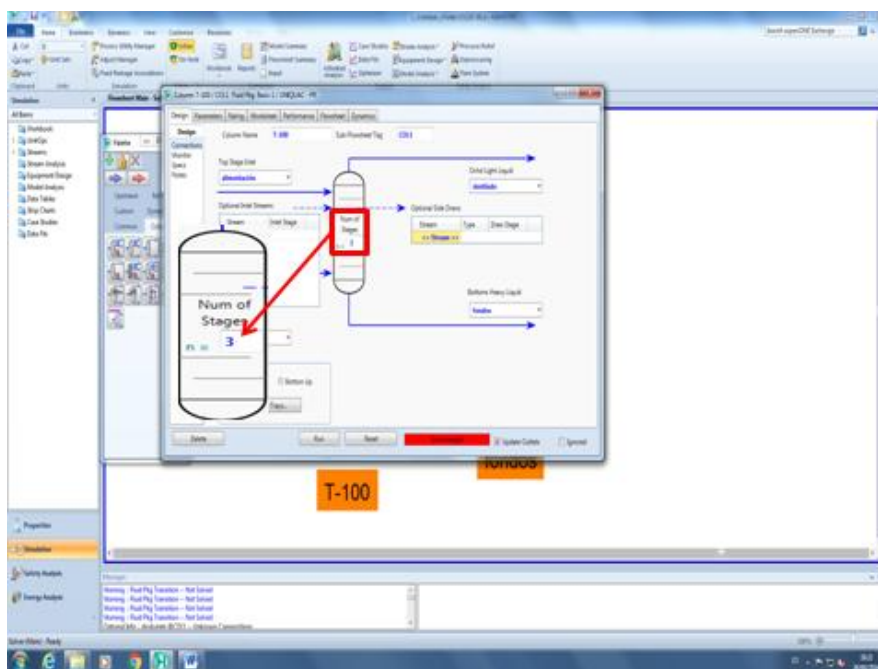
13. Una vez que se ha insertado la presión, se vuelve a hacer clic en “Next” de manera que pasaremos a una ventana que nos da la opción de estimar el perfil de temperaturas (Ver Figura 12). No obstante, estas estimaciones pueden ser ignoradas de tal forma que HYSYS las calculará automáticamente cuando pasemos a la simulación final del proceso. Por ello, se hace clic para finalizar en la casilla “Done”.





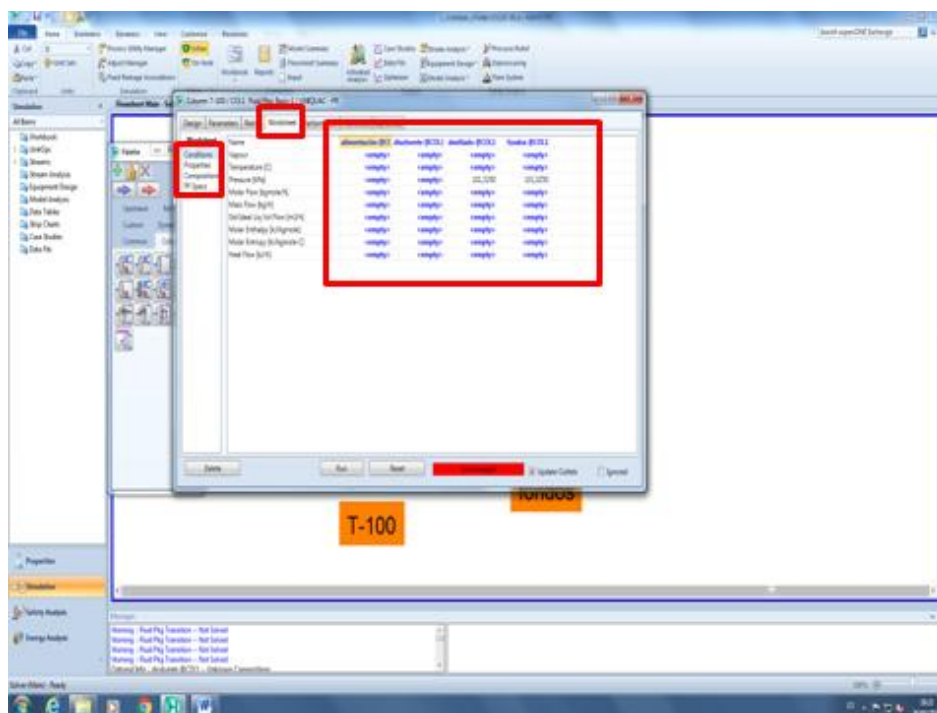
**Figura 12.** HYSYS da la opción de insertar la temperatura del proceso. En este caso le damos a “Done” accedemos al menú principal.

14. A continuación aparece una ventana donde se hallan presentes todas las opciones para el extractor L-L. En este caso, se observa que el programa HYSYS establece por defecto un número de 10 etapas para el extractor líquido (Num of Stages). Por defecto, HYSYS numera las etapas en orden ascendente, estando una de las etapas en la parte superior. En este caso sabemos que por la corriente destilado sale el extracto (mayoritario en el disolvente cloroformo) mientras que en el refinado (la corriente fondos) el líquido mayoritario es el agua, ya que previamente hemos seleccionado la opción de que la corriente pesada (rica en cloroformo) salga por la parte superior. En este caso probaremos con 4 etapas (estando la primera ya en la parte superior), de manera sustituimos en “Num of Stages” el valor de 10 por un valor de 3 (Ver Figura 13):



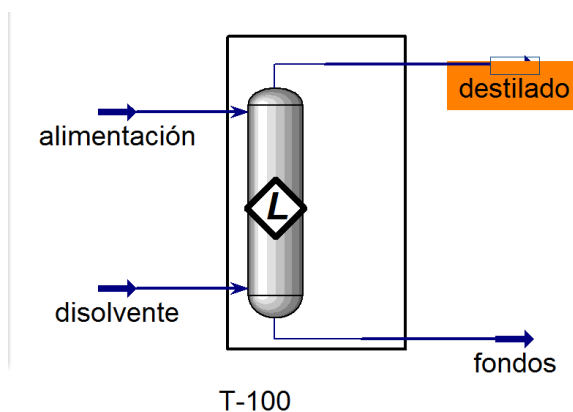
**Figura 13.** Ventana principal del equipo de columna de extracción líquida para el modelo termodinámico UNIQUAC. Seleccionamos adecuadamente el número de etapas para llevar a cabo la extracción L-L.

15. Para dar comienzo a la simulación, se tiene que especificar tanto las condiciones de temperatura y presión como los flujos másicos y composiciones para las dos corrientes de entrada que intervienen en el proceso: la alimentación y el disolvente. Para ello, se hace doble clic sobre la corriente alimentación de manera que abrimos el menú de especificaciones para dicha corriente. Se introduce 18,5° C de temperatura, una presión de 101,3 kPa, un flujo másico de 100 kg/h y una composición del 25% peso en agua, el 20% en acetona y el 55% en ácido acético. También se puede cambiar las condiciones y composiciones de la alimentación directamente a través de la pestaña “*Worksheet*” del menú del extractor L-L en las opciones “*Conditions*” y “*Compositions*” de forma muy similar a que si hacemos clic en la propia corriente de alimentación (Ver Figura 14):



**Figura 14.** La pestaña “*Worksheet*” del menú del extractor nos permite cambiar para cada corriente líquida las condiciones (T, P,...), los flujos másicos, las composiciones...

16. Se repiten los mismos pasos para el caso del disolvente extractor de cloroformo, que estará a 18,5 °C, 101,3 kPa, con un flujo másico de 350 kg/h y en estado puro.
17. Una vez que las corrientes de entrada y la columna de extracción L-L se hayan definidas, se procede a iniciar la simulación del proceso. Para ello, se hace doble clic sobre la columna de extracción L-L, de manera que accedemos al menú principal, donde se hace clic en la opción “*Run*”, indicando en la casilla inferior con el color verde con la palabra “*Converged*” si el proceso ha transcurrido de forma satisfactoria. Además, si el proceso ha transcurrido bien tendría que aparecer el esquema del proceso en la pantalla principal con todas las corrientes líquidas de color azul oscuro (Ver Figura 15)



**Figura 15.** Si el proceso ha transcurrido de forma satisfactoria, las corrientes líquidas estarán de color azul oscuro.

18. Una vez que se ha comprobado que el proceso ha transcurrido bien, se deberían obtener los flujos y condiciones finales de T y P, así como las composiciones de todas las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción: alimentación, disolvente, destilado y fondos. Estos resultados se pueden ver haciendo clic en la pestaña "Worksheet" en el propio menú de la columna extractora (ver Figura 16):

Worksheet	Name	alimentación @COL1	disolvente @COL1	destilado @COL1	fondos @COL1
Conditions	Vapour	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	18,5000	18,5000	18,3630	18,5121
Compositions	Pressure [kPa]	101,3250	101,3250	101,3250	101,3250
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2,6480	2,9319	4,0365	1,5434
	Mass Flow [kg/h]	100,0000	350,0000	412,8285	37,1715
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,1027	0,2336	0,2008	0,0264
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3,415e+005	-1,341e+005	-2,032e+005	910,1
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	33,54	158,7	158,7	158,7
	Heat Flow [kJ/h]	-9,0421e+05	-3,9320e+05	-8,2008e+05	4,7739e+05

**Figura 16.** Representación de las condiciones finales (T, P, flujos máxicos,...) todas las corrientes líquidas.

19. También hay una opción de representar sobre la pantalla de simulación junto al extractor L-L y las corrientes, una tabla resumen con los resultados del proceso de extracción L-L. Para ello, sobre la pantalla donde está representado el extractor líquido, se hace clic en el botón derecho y se selecciona la opción "Add Workbook Table", donde nos sale una ventana titulada "Select Workbook Page" (Ver Figura 17) de manera que seleccionamos primero "Material Streams" para hallar los datos de las corrientes (temperatura, caudales,...). Le damos a "Select" y nos aparece una tabla sobre la pantalla, de tal manera que la podemos mover para que quede bien situada junto al diagrama de extracción L-L. Se hace lo mismo para obtener una tabla de las composiciones finales seleccionando

“Compositions” y después de darle a “Select”. Al final el ejercicio final de extracción L-L quedará tal y como aparece en la Figura 18:

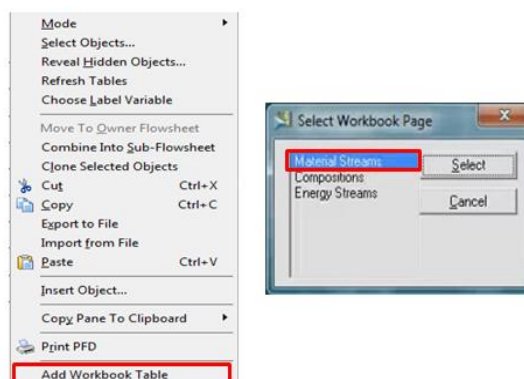


Figura 17. Opción de HYSYS que nos permite obtener las tablas de los resultados de la simulación.

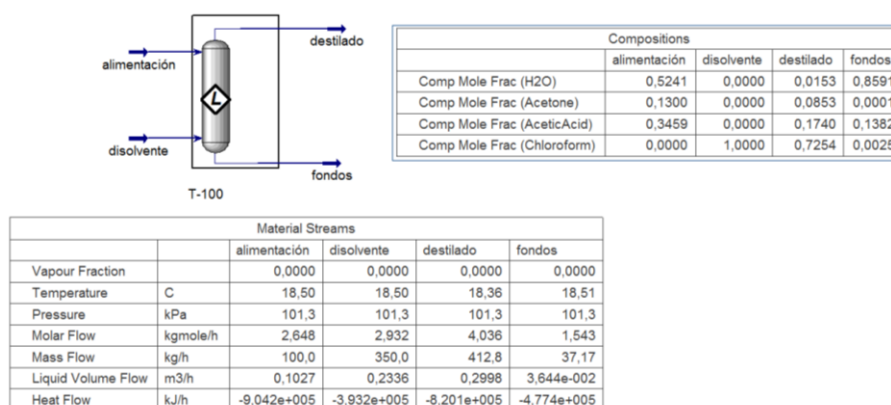


Figura 18. Representación del caso práctico de HYSYS con las tablas de resultados y el esquema del proceso de extracción L-L.

20. Guardamos el archivo con el nombre *Práctica de Extracción L-L*.

### 3. Referencias bibliográficas

- Cuevas, M., Valdivia, D. F., Mateo, S. y Parra, M<sup>a</sup>. L. (2010). Simulación de prácticas de laboratorio de la asignatura “Experimentación en Ingeniería Química” mediante el uso del simulador de procesos Hysys.Plant. *Revista electrónica. Universidad de Jaén*, e4:c19, 1-5.

## **Anexo XIII: Guión del caso práctico de Actividad A2 (Ejemplar del alumno/a):**

### **1. Objetivos**

Los principales objetivos de esta práctica son los siguientes:

- A) Familiarizar al alumno con el fundamento de la extracción líquido-líquido.
- B) Familiarizar al alumno con el manejo del software Aspen HYSYS para la resolución de casos prácticos de extracción L-L.

### **2. Realización de un caso práctico de extracción L-L con el programa HYSYS**

#### **2.1. Planteamiento del problema**

En esta práctica se va a realizar un caso sencillo de extracción líquido-líquido utilizando la versión de Aspen HYSYS V8.4. Para ello, se partirá de una corriente líquida de alimentación a 18,5 °C y 1 atm que contiene un 25% en peso de agua, un 20% de acetona y un 55% de ácido acético con un flujo másico de 100 kg/h. Se utiliza como disolvente orgánico el cloroformo puro con un flujo másico de 350 kg/h y que se halla a las mismas condiciones de temperatura y presión que la alimentación.

#### **2.2. Pasos a realizar con HYSYS**

1. Se inicia el programa de Aspen HYSYS V8.4 de forma que aparece la ventana *“Start Using Aspen HYSYS”* y se hace clic en la pestaña *“New”* para iniciar un nuevo caso de estudio en HYSYS (**Case Study** en inglés).
2. Se comienza el proceso con la selección de los componentes que intervienen en el proceso de extracción L-L: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés), ácido acético (Acetic Acid en inglés) y cloroformo (Chloroform en inglés). Para ello, dentro de la pantalla de *“Properties”* que al abrir un caso nuevo es la primera que aparece por defecto, se selecciona la opción *“Component Lists”* y se hace clic en el icono *“Add”*.
3. Nos aparece una nueva ventana donde tendremos que seleccionar los cuatro compuestos que intervienen en proceso: Acetona (Acetone en inglés), agua (Water en inglés), ácido acético (Acetic Acid en inglés) y cloroformo (Chloroform en inglés).
4. Una vez que se hayan definido los compuestos, en la misma ventana de *Properties*, seleccionamos el modelo termodinámico de propiedades que van a presentar los líquidos con los que vamos a trabajar con la opción *“Fluid Packages”* y se hace clic en el icono *“Add”*.
5. Dentro de los modelos termodinámicos, seleccionamos el modelo UNIQUAC (UNIversal QUAsiChemical), que es el modelo que da una mejor estimación de datos de equilibrio. Seleccionamos en *“Vapour model”* la opción *“PR”*.
6. Para el caso de los procesos de extracción L-L, los coeficientes binarios de los componentes para el modelo UNIQUAC al igual que pasaba con el NRTL deben ser comprobados accediendo a la pestaña *“Binary Coeffs”* ya que si algunos de los coeficientes no está especificado por HYSYS, la simulación del proceso no tendrá lugar.

En este caso se observa que los coeficientes binarios están todos determinados para los 4 compuestos de manera que se puede cerrar y pasar a la simulación.

7. Para pasar a la simulación, hacemos clic en la misma pantalla en la opción "*Simulation*" de manera que accederemos a la pantalla donde se va a llevar a cabo el proceso de simulación.
8. Se comienza añadiendo las corrientes líquidas tanto las de entrada (la alimentación y el disolvente extractor) como las de salida (extracto y refinado). Para ello se hace clic en la opción "*Material Stream*" (Flecha azul) del menú de la izquierda "*Palette*" y nos trasladamos a la pantalla principal "*Worksheet Main- Solver Active*" donde se va a representar el esquema del proceso de extracción L-L. Se hace el mismo para las 3 corrientes líquidas restantes.
9. Una vez que se han definido las corrientes, le ponemos nombre a cada una de ellas, de manera que la corriente 1 pasará a llamarse "*alimentación*". Para ello se hace doble clic sobre la corriente 1, de manera que aparecerá una ventana llamada *Material Stream 1* y se cambia el nombre en la casilla *Stream Name*. Se hace lo mismo para el resto de corrientes de manera que la 2 será "*disolvente*", la 3 "*destilado*" y la 4 "*fondos*".
10. Ahora se procede a representar el equipo de extracción L-L, de forma que para ello se seleccionará dentro del menú "*Palette*" en la pestaña "*Columns*" la opción del extractor L-L (*Liquid-Liquid Extractor*) y hacemos clic pantalla "*Worksheet Main-Solver Active*" en la que se va a representar el proceso de extracción, situando el equipo entre las corrientes de entrada y de salida.
11. Si hacemos doble clic sobre el extractor L-L accederemos al menú opciones del propio equipo. Lo primero que se hará es conectar el equipo con las corrientes líquidas, de manera que en la corriente "*Top Stage Inlet*" introduciremos la alimentación, en "*Bottom Stage Inlet*" el disolvente, en "*Ovhd Light Liquid*" el destilado y "*Bottoms Heavy Liquid*" la corriente fondos. En este caso se selecciona la opción "*Bottom Up*" de la opción "*Stage Numbering*" si queremos que la corriente pesada (*Bottoms Heavy Liquid*) salga por la parte superior. Hay que tener en cuenta que el cloroformo es más denso que el agua (densidad del cloroformo  $1483 \text{ kg/m}^3$  frente a la de agua con  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).
12. Una vez que se han conectado las 4 corrientes líquidas, se hace clic en "*Next*" y a continuación se introduce la presión del sistema que en este caso es constante y tiene un valor de 101,3 kPa. Se introduce tanto en el nivel superior como en el inferior.
13. Una vez que se ha insertado la presión, se vuelve a hacer clic en "*Next*" de manera que pasaremos a una ventana que nos da la opción de estimar el perfil de temperaturas. No obstante, estas estimaciones pueden ser ignoradas de tal forma que HYSYS las calculará automáticamente cuando pasemos a la simulación final del proceso. Por ello, se hace clic para finalizar en la casilla "*Done*".
14. A continuación aparece una ventana donde se hallan presentes todas las opciones para el extractor L-L. En este caso, se observa que el programa HYSYS establece por defecto un número de 10 etapas para el extractor líquido (Num of Stages). Por defecto, HYSYS

numera las etapas en orden ascendente, estando una de las etapas en la parte superior. En este caso sabemos que por la corriente destilado sale el extracto (mayoritario en el disolvente cloroformo) mientras que en el refinado (la corriente fondos) el líquido mayoritario es el agua, ya que previamente hemos seleccionado la opción de que la corriente pesada (rica en cloroformo) salga por la parte superior. En este caso probaremos con 4 etapas (estando la primera ya en la parte superior), de manera sustituimos en “*Num of Stages*” el valor de 10 por un valor de 3.

15. Para dar comienzo a la simulación, se tiene que especificar tanto las condiciones de temperatura y presión como los flujos máscicos y composiciones para las dos corrientes de entrada que intervienen en el proceso: la alimentación y el disolvente. Para ello, se hace doble clic sobre la corriente alimentación de manera que abrimos el menú de especificaciones para dicha corriente. Se introduce 18,5° C de temperatura, una presión de 101,3 kPa, un flujo máscico de 100 kg/h y una composición del 25% peso en agua, el 20% en acetona y el 55% en ácido acético. También se podría cambiar las condiciones y composiciones de la alimentación directamente a través de la pestaña “*Worksheet*” del menú del extractor L-L en las opciones “*Conditions*” y “*Compostions*” de forma muy similar a que si hacemos clic en la propia corriente de alimentación.
16. Una vez que la corriente de alimentación esté definida, aparecerá en la parte inferior una casilla de color verde con la palabra “*OK*”.
17. Se repiten los mismos pasos para el caso del disolvente extractor de cloroformo, que estará a 18,5 °C, 101,3 kPa, con un flujo máscico de 350 kg/h y en estado puro.
18. Una vez que las corrientes de entrada y la columna de extracción L-L se hayan definidas, se procede a iniciar la simulación del proceso. Para ello, se hace doble clic sobre la columna de extracción L-L y se hace clic en la opción “*Run*”, indicando en la casilla inferior con el color verde con la palabra “*Converged*” si el proceso ha transcurrido de forma satisfactoria. Además, si el proceso ha transcurrido bien tendría que aparecer el esquema del proceso en la pantalla principal con todas las corrientes líquidas de color azul oscuro.
19. Una vez que se ha comprobado que el proceso ha transcurrido bien, se deberían obtener los flujos y condiciones finales de T y P, así como las composiciones de todas las corrientes líquidas que intervienen en el proceso de extracción: alimentación, disolvente, destilado y fondos. Estos resultados se pueden ver haciendo clic en la pestaña “*Worksheet*” en el propio menú de la columna extractora.
20. También hay una opción de representar sobre la pantalla de simulación junto al extractor L-L y las corrientes, una tabla resumen con los resultados del proceso de extracción L-L. Para ello, sobre la pantalla donde está representado el extractor líquido, se hace clic en el botón derecho y se selecciona la opción “*Add Workbook Table*”, donde nos sale una ventana titulada “*Select Workbook Page*”, de manera que seleccionamos primero “*Material Streams*” para hallar los datos de las corrientes (temperatura, caudales,...). Le damos a “*Select*” y nos aparece una tabla sobre la pantalla, de tal manera que la podemos mover para que quede bien situada junto al diagrama de extracción L-L. Se hace lo mismo para obtener una tabla de las composiciones finales seleccionando “*Compositions*” y después de darle a “*Select*”.

21. Guardamos el archivo con el nombre *Práctica de Extracción L-L*.

### 3. Informe a presentar

El informe a entregar deberá contener los siguientes apartados:

1. Portada con el título de la práctica, nombre y apellidos, curso.
2. Diagrama de flujo.
3. Las tablas (“WORKBOOK: CASE (MAIN)”, solo) con las propiedades y composiciones de todas las corrientes.

## **Anexo XIV: INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL PROCESO:**

**Tabla A.-** Indicadores de evaluación del proceso para el objetivo específico 1.

<b>TÍTULO DEL PROYECTO:</b> <i>Aplicación de Aspen HYSYS en Extracción Líquido-Líquido</i>				
<b>OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO:</b> Aplicar el software Aspen HYSYS en la resolución de casos prácticos de Extracción Líquido-Líquido para mejorar la rapidez y precisión en la resolución de los mismos y la competencia digital del alumnado.				
<b>OBJETIVO ESPECÍFICO 1</b>	<b>Aprender el manejo del software Aspen HYSYS formando previamente al alumnado para la resolución de casos prácticos de extracción Líquido-Líquido.</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>FUENTES DE VERIFICACIÓN</b>
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	1. Conocimiento general por parte del alumnado del proceso de Aspen HYSYS en su aplicación para la extracción L-L.  2. Manejo del software Aspen HYSYS por parte de los alumnos.	A1.1. Introducción al programa Aspen HYSYS y su aplicación para la extracción L-L.	Materiales desarrollados.  Recursos necesarios.  Preguntas para confirmar la comprensión	Nº de diapositivas elaboradas.  Aspectos clave del manejo del programa (opciones principales, fases...)  <b>Nº de consultas resueltas</b>
		A1.2. Realización de un ejemplo práctico de Aspen HYSYS en extracción L-L.	Guión del ejemplo práctico desarrollado. Funcionamiento del programa Aspen HYSYS.	Nº de indicaciones planteadas. <b>Nº de incidencias resueltas.</b> <b>Nº de consultas resueltas</b>
		A1.3. Puesta en común y resolución del ejemplo práctico de HYSYS en extracción L-L.	Materiales desarrollados.  <b>Análisis de los resultados obtenidos.</b>	<b>Nº de aciertos.</b>  <b>Nº de dudas aclaradas.</b>

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla B.-** Indicadores de evaluación del proceso para el objetivo específico 2.

<b>TÍTULO DEL PROYECTO:</b> <i>Aplicación de Aspen HYSYS en Extracción Líquido-Líquido</i>				
<b>OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO:</b> Aplicar el software Aspen HYSYS en la resolución de casos prácticos de Extracción Líquido-Líquido para mejorar la rapidez y precisión en la resolución de los mismos y la competencia digital del alumnado.				
<b>OBJETIVO ESPECÍFICO 2</b>	<b>Poner en práctica los conocimientos y destrezas del alumnado en el manejo de Aspen HYSYS, resolviendo casos prácticos para determinar el grado de adquisición de los mismos.</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>FUENTES DE VERIFICACIÓN</b>
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	1. Adquisición de conocimientos y destrezas por parte del alumnado en el manejo de HYSYS. 2. Elaboración de informes de resultados.	A2.1. Explicación previa de la práctica	Materiales desarrollados. Recursos necesarios. Preguntas para confirmar la comprensión	<b>Nº de consultas resueltas.</b> <b>Nº de propuestas realizadas.</b>
		A2.2. Realización de la práctica	Guión de la práctica elaborado. Tiempo asignado a la realización de la práctica. Funcionamiento del programa Aspen HYSYS. <b>Nº de grupos formados.</b> <b>Nº de alumnos participantes.</b>	<b>Nº de pasos del caso práctico que se han resuelto.</b> <b>Tiempo empleado en la realización de la práctica.</b> <b>Nº de incidencias resueltas.</b>
		A2.3. Realización del informe final	Planteamiento del informe. Tiempo asignado para el informe.	<b>Tiempo empleado para el informe.</b> <b>Nº de dudas resueltas.</b>
		A2.4. Corrección del informe final	Criterios de calificación del informe. Aspectos a valorar del informe.	<b>Nº de informes entregados.</b> <b>Nº casos prácticos bien resueltos.</b>

Fuente: Elaboración propia.

Código de colores para los indicadores y fuentes de verificación:

- Negro se corresponde a la fase de diseño del proyecto.
- **Verde se corresponde a la fase de realización del proyecto.**

**Anexo XV: MODELO DE ENCUESTA DE SATISFACCIÓN:**

CUESTIÓN	TD	ED	DA	TA	NS/NC
La utilización de Aspen HYSYS me ha ayudado a comprender mejor los conocimientos teóricos.					
La simulación de los casos prácticos de Aspen HYSYS me han ayudado al análisis e interpretación de los resultados obtenidos.					
Las explicaciones del profesor han resultado útiles para la práctica					
El uso de Aspen HYSYS me ha servido para conocer mejor lo que realmente tiene lugar en la industria.					
Las prácticas me han generado una mayor motivación por la materia.					
He desarrollado competencias que me pueden ser útiles en mi futuro profesional					
En general, considero útil la utilización de Aspen HYSYS para el desarrollo de la teoría de extracción L-L.					

TD: Total desacuerdo; ED: en desacuerdo; DA: de acuerdo; TA: totalmente de acuerdo; NS/NC: no sabe/no contesta.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de las encuestas de satisfacción utilizadas en los estudios de Cuevas-Aranda et al. (2014).