

6.1. Concepto de concentración de minerales

La concentración de minerales es un proceso industrial que tiene como objetivo técnico la separación de las menas que componen el todo uno, que procede de la explotación minera, en dos grandes grupos, al menos¹, de tal forma que se modifica la ley media de cada uno de ellos con respecto a la ley media del todo uno.

Para el concentrado, la mena principal, la ley aumenta pasando de valores, según tipo de mineral, de 1, 3 ó 7% a valores de 40, 70% o superiores, y el estéril donde se acumula la ganga la ley disminuye alcanzando valores de 0,1% o incluso valores de 0,03%.

La ley se puede modificar con respecto a la mena principal o a varias de las menas que componen el todo uno que se recibe en las instalaciones, talleres de concentración. Se pretende, normalmente, separar del resto de materiales que componen el todo uno la mena o menas que tienen beneficio económico.

6.1.1. Procedimientos, formas de realizar la concentración

Existen diversos procedimientos que se pueden clasificar formalmente en tres grandes grupos:

- a) **Manual.** Corresponde al estrío, realizado manualmente, y está actualmente en desuso. Exige mano de obra muy económica y la selección se realiza por el conocimiento y decisión del operario.
Se realizaba en mesas giratorias o cintas (este procedimiento con cintas continuas que se alimentan de una tolva donde descargan los camiones, se utiliza actualmente en la clasificación de los residuos para la recuperación de elementos que se envían a recuperación; p.e recuperación del papel, vidrio, metales, etc.).
- b) **Mecanizado.** El sistema necesita de una cualidad medible frente al resto de componentes del todo uno (color, reflexión, radiación, conductividad, etc.) y es de aplicación industrial a elementos minerales que destacan o se diferencian del resto de componentes en esta cualidad identificable. Se utiliza como proceso industrial para menas específicas. El sistema o principio tiene utilización en otras tecnologías como limpieza de venas de aire en expulsión de gases.
- c) **Procedimientos industriales.** Constituyen este grupo el conjunto de tecnologías mineras que se utilizan de forma industrial y masiva para la concentración de minerales y que en función de la propiedad utilizada, o de alguna característica singular del proceso se subdividen en grupos y se denominan, y así se tiene:
 - **Flotación.** De aplicación generalizada, sirve para concentrar la mayoría de las menas, es el sistema más extendido y generalizado y utiliza la afinidad de los diferentes minerales, debidamente potenciada mediante la adicción de reactivos, de unirse al aire (aerofílicos) frente a la facilidad de unirse al agua (hidrofílicos o aerofóbicos). El principio es la flotación de las menas dentro de un baño de agua, mediante la unión a una burbuja de aire, para flotar dentro del baño y ascender a la superficie del mismo en forma de espumas cargadas de mineral.
Se aplica a las menas de sulfuros, óxidos, minerales nativos, etc., y en general a cualquier mena con la excepción de aquellas que no interesa tratar mediante procedimientos húmedos.
 - **Separación magnética.** Utiliza la propiedad del magnetismo (paramagnético o diamagnético) y se aplica a aquellas menas que tienen esta característica medible frente a la ganga. Es de aplicación a las menas de ferritas y se utiliza como auxiliar en procesos de concentración por medios densos para la recuperación del mineral que forma el medio denso.

¹ Existe la concentración de una, dos o más menas en determinados procesos, (p.e.: Cu, Zn y Pt).

- *Separadores eléctricos.* Utilizan como propiedad medible la conductividad eléctrica diferencial. El método se utiliza también en la recuperación electrostática, potenciando mediante campos eléctricos, la recogida de partículas (depuración de humos).
- *Diferencias de densidad.* Utilizan como propiedad básica la diferencia de densidad de los minerales (menas) y la relación de tamaños de las partículas. Si se utiliza en el proceso la diferencia de la velocidad de desplazamiento dentro de un medio, procedimiento isodrómico; la diferencia de flotabilidad, ascendente o descendente dentro de un medio denso, procedimiento de medios densos, la diferente flotabilidad dentro del agua, elutriación, etc. En general estos procesos están limitados en cuanto al tamaño de partículas que no debe ser muy pequeño, con la excepción de los sistemas basados en técnicas de centrifugado.

Existe diversidad de tecnologías y procesos de concentración sobre la base de la diferencia del tamaño y la diferente densidad de las partículas y se han usado y se utilizan en la concentración de todo tipo de menas.

Actualmente estos procesos han sido desplazados por la tecnología de flotación, de aplicación más generalizada y que alcanza a tamaños más pequeños de partícula, constituyendo los métodos de concentración con medios densos tecnologías auxiliares previas a la flotación para optimizar los procesos generalmente.

- *Otros procesos.* Existen tecnologías muy específicas como la concentración biológica, para la absorción del Cu en determinados ambientes (lagunas contaminadas), que se utilizan localmente como tecnología minera; sistemas de tostación o calcinación parcial de las menas que destruyen los enlaces coloidales de las arcillas y descomponen los hidratos y carbonatos y que facilitan u optimizan los procesos posteriores de concentración.

En general todos los procesos o procedimientos de concentración necesitan la realización de operaciones previas entre las que se pueden citar:

- Eliminación de lodos y lamas (silicatos de aluminio, arcillas o partículas extrafinas que interfieren en los procesos de concentración).
- Eliminación de materia orgánica, madera y limpieza de las menas.
- Eliminación de metales, cables y otros, como restos que pueden venir con el todo uno procedentes de la mina.
- Realización de operaciones previas que se resumen en dos principales:
 - Reducción del tamaño, etapas de fragmentación y de molienda.
 - Agrupación por tamaños, cribado o clasificación.

6.1.2. Sistema mecanizado

Son operaciones de concentración cuyo proceso se basa en un sistema mecanizado que consta de los elementos siguientes:

- a) Una tolva de almacenamiento que sirve para regular la alimentación y dar continuidad al proceso.
- b) Un elemento de distribución y transporte que presenta el mineral al elemento detector en la forma que este lo precise y que suele ser con las exigencias siguientes.

Desenlodado perfecto para que el elemento detector pueda actuar, que no queden partículas enmascaradas por su recubrimiento. Granulometría en franjas cerradas (10-20; 20-30 mm, etc.) y alimentación en monocapa delante del detector o en fila que permita medir cada partícula. Funciona por el proceso de probabilidad en relación con la ley de la partícula, siempre tiene más probabilidad de ser detectada una partícula en la que toda su superficie exterior cumple la ley a medir que aquella que lo cumple en un porcentaje menor.

- c) Un sistema de impulsión que separa la partícula identificada del resto y un sistema de recogida diferenciado por clases de partículas.

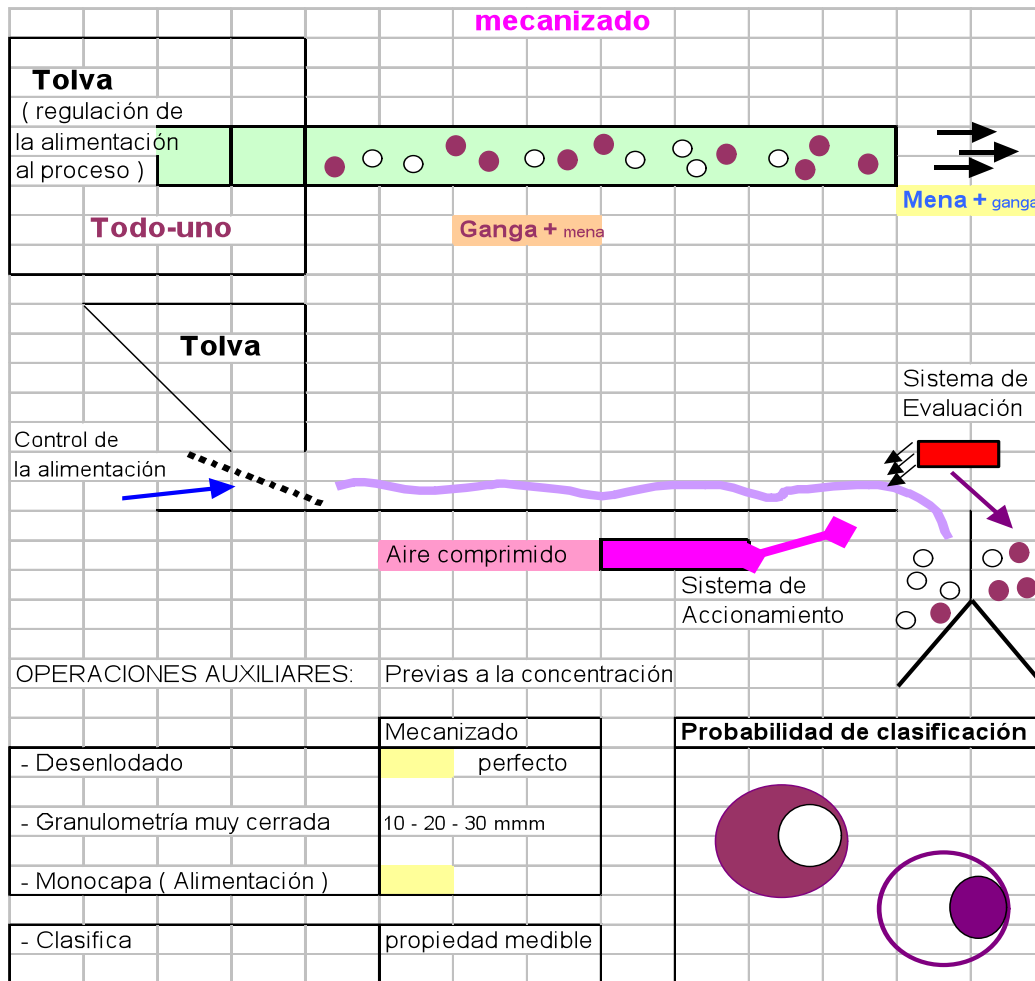


Figura 6.1. Esquema correspondiente a una concentración mecánica.

6.1.3. Propiedades evaluables

Se pueden considerar las siguientes propiedades:

- **Ópticas, fotométricas.** Se utilizan lámparas especiales y detectores.
- **Fluorescencia.** Se utilizan equipos de detección de Rx.
- **Rayos gamma.** Se utilizan contadores Geiger y se aplica a elementos radioactivos.
- **Absorción de neutrones.** Para elementos como el Boro².
- **Liberación de foto-neutrón.** Para la concentración de Berilio que se le bombardea con radiación gamma.
- **Magnetismo.** Elementos con la propiedad magnética. Se utiliza para la concentración de ferritas magnéticas.
- **Conductividad eléctrica.** Este proceso podría ser universal ya que todos los elementos presentan alguna propiedad de conductividad y diferencias entre ellos. Exige que los minerales estén totalmente secos, la humedad modifica la resistividad o conductividad.

² Se utiliza como regulador en los reactores nucleares.

Las propiedades pueden ser evaluables, controladas mediante la diferencia de existe o no existe, y medibles, controlada mediante la diferencia en el valor de tal forma que permite su separación en dos grupos por el valor obtenido de la medida, superior o no a un límite.

El estrío o concentración manual se puede considerar como una operación donde el elemento detector y actuante es la persona que realiza la clasificación y la función detectada es la correspondiente a las ópticas. Exige, por las limitaciones correspondientes a las personas, una determinada velocidad de paso del mineral, inferior a 20 m/minuto (1,2 km/h) y un tamaño tanto inferior como superior, correspondiente a aquel tamaño manejable igualmente por una persona y está comprendido entre 50 mm y 250 mm.

Se utilizan mesas circulares fijas, trabajo discontinuo; Mesas circulares móviles, trabajo continuo, con descarga manual por el centro y lateralmente y cintas transportadoras de banda con puestos de trabajo a lo largo del recorrido. Esta tecnología exige mano de obra adaptada y muy económica y esta descartada por producción actualmente. La tecnología de clasificación manual sobre cintas se utiliza en los procesos de clasificación de residuos para segregar los elementos reutilizables actualmente (vidrio, metal, papel).

6.2. Operaciones auxiliares; desenlodado

Dentro de las operaciones auxiliares, y necesarias, que se deben realizar antes de entrar a los procesos de concentración está el desenlodado, operación que consiste en separar y extraer de la masa de partículas, eliminar del proceso, los elementos de pequeño tamaño derivados normalmente de los silicatos de aluminio y partículas ultrafinas que distorsionan el funcionamiento de los procesos de concentración por diferentes motivos según el tipo de proceso.

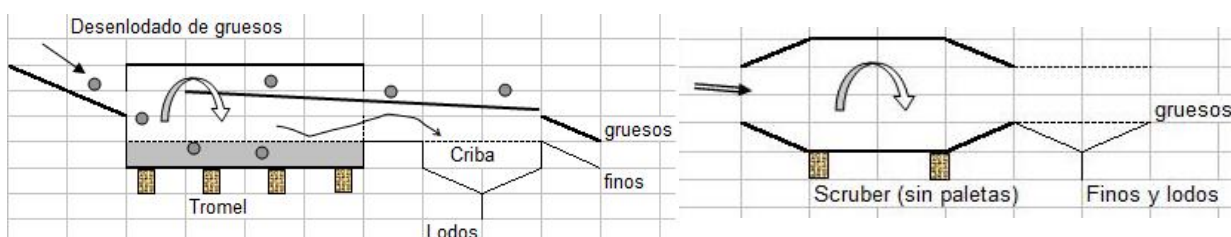
Los lodos, partículas de pequeño tamaño, interfieren en los procesos, modificando la densidad media y la viscosidad en los procesos de concentración por medios densos, absorbiendo los reactivos en los proceso de flotación, enmascarando las propiedades superficiales en los procesos mecanizados, etc., por lo que es necesario su total eliminación.

Los procesos de desenlodado constan de dos fases, una primera de transformación de las arcillas en lodos y una segunda fase de separación de los lodos de la mena principal para su tratamiento o eliminación. Según la cantidad y el tipo se pueden tratar junto con los estériles y así son enviados a escombrera, a presas de residuos o a tratamiento adecuado para limpieza y depuración de aguas y su posterior vertido.

Los fines que se obtienen con el desenlodado son de ayuda al estrío o clasificación manual, favorece la trituración y la molienda, es una operación previa a los procesos de preconcentración, favorece a los procesos de concentración y en si misma es ya un proceso de concentración en tanto que elimina del total de la alimentación un porcentaje correspondiente a un mineral que es ganga o mineral no útil.

Los equipos utilizados, normalmente, varían con el tamaño del mineral a tratar y así se utilizan tecnologías para tamaños gruesos, medios o finos. La tecnología emplea agua, como medio, y fricción (rozamiento), como principio.

Trómeles, se utilizan para tamaños gruesos. Son cilindros de chapa, giratorios, con el eje horizontal o algo inclinado que tratan bien tamaños en el entorno de 30 a 300 mm y en general se utilizan para tamaños menores de 200 mm.



Emilio Andrea Blanco

Tienen en su interior paletas para elevar el hundido, gruesos, doble descarga, una para los tamaños hundidos (gruesos) y otra para los tamaños ligeros y pulpa. Se suele incorporar una criba en descarga de los finos para separar los lodos.

A esta familia de desenlodadores pertenecen los *Scruber*, equipos de forma cilíndrica en el cuerpo principal con formas troncocónicas en las bases, que por el efecto del giro produce una fricción de las partículas entre si y separa el lodo de las partículas. En la descarga incorpora una criba para separar los gruesos de los finos y lodos.

Batideras y log-washer, para tamaños medios, entre 1 y 70 mm y normalmente inferiores a 100 mm. Estos equipos constan de una cuba con un elemento agitador, cinta continua con brazos saliente que bate el agua (batideras) y que extrae por el rebose los lodos y por el hundido los granos de mineral. Log-washer, cuba con cilindros dotados con brazos salientes y giro contrarrotante que extrae por un lado, el rebose, los finos y por el otro arrastra los granos y los extrae por la parte superior, gruesos lavados.

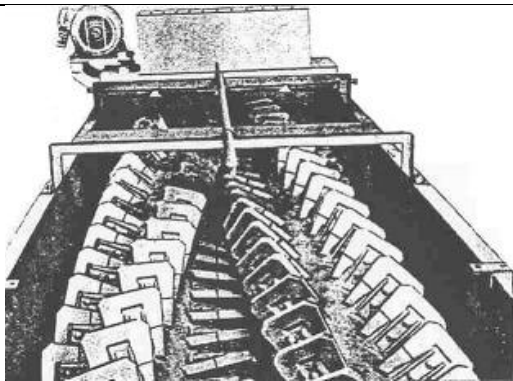
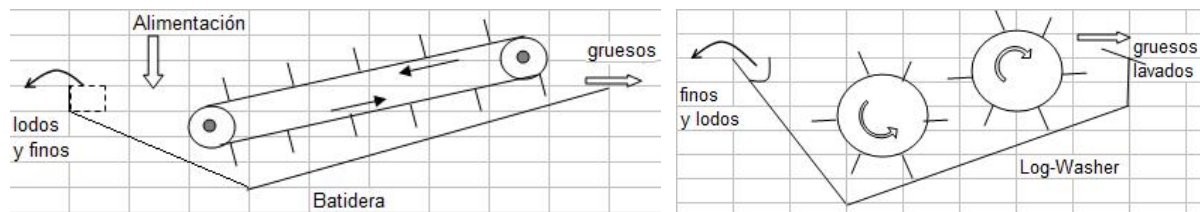


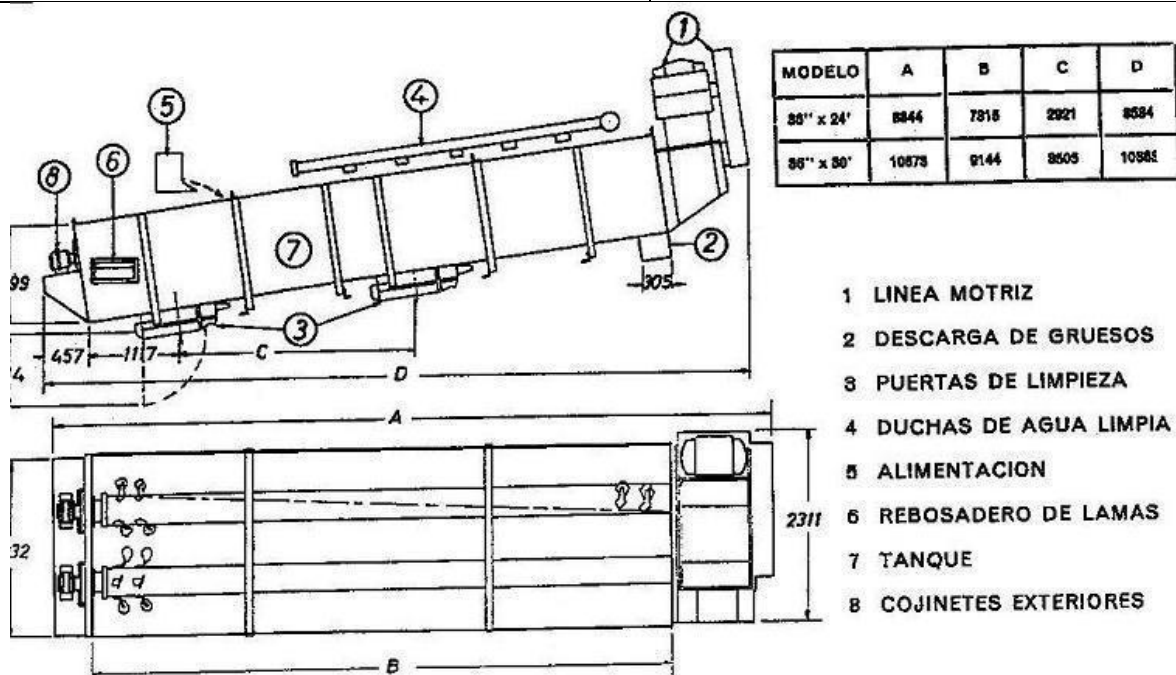
Figura 6.2. Detalle de log-Washer de Wemco.

Función: Eliminar arcillas, aglomerados, esquistos y películas que recubren las partículas gruesas.

Tamaños: Hasta 65 mm y, ocasionalmente, 100 mm.

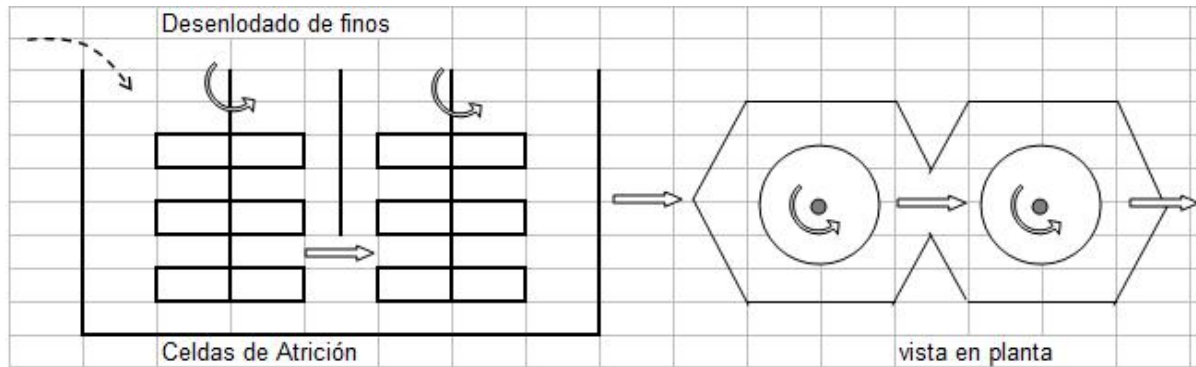
Capacidad: 50 a 80 t/h.

Potencia: 55 kW (75 CV).

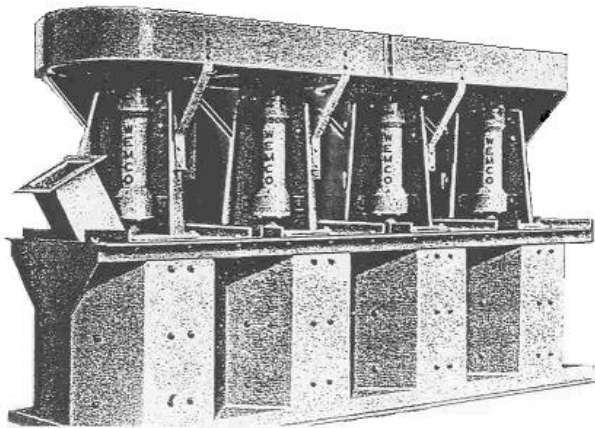


Celdas de atrición, para tamaños finos, en el entorno de 8 mm y normalmente inferiores a 10 mm. Despegan el lodo del mineral y se justifican cuando el lodo está muy adherido. Exigen un tratamiento posterior de desenlodado, normalmente, mediante criba vibrante con ducha o chorros de agua.

Trabajan utilizando el principio de atrición, fricción entre partículas, en un baño batido por palas giratorias que produce alta turbulencia.



Estos equipos trabajan de forma discontinua, se cargan y durante un tiempo, función de la adherencia y de la dificultad del trabajo a realizar, tiempo necesario para separar el lodo del mineral, se descargan normalmente a una criba de separación de lodos.



Se trabaja, normalmente, en dos líneas alternas de forma que una está en el proceso de desenlodado y la otra en el de descarga y posterior carga regulando los tiempos y las bombas adecuadamente. Así se consigue que una operación discontinua en si misma, es continua dentro del proceso general minero.

Cribas vibrantes, para tamaños menores de 1 mm y para la eliminación de agua, cribas de agotamiento, y para lodos muy diluidos. Estos elementos se calculan con los procedimientos descritos en la tecnología correspondiente al capítulo de cribado.

Otros equipos tales como espesadores, ciclones, equipos de clasificación con mecanismos del tipo tornillos sin-fin y en general maquinaria específica de clasificación, espesamiento y clarificación de aguas, que son descritos en el capítulo correspondiente donde forman la tecnología principal o de mayor uso para cada equipo y que según parámetros del sistema como, regulación, dilución, punto de corte, etc., pueden realizar labores de desenlodado aunque en si mismos no estén diseñados para esta función minera.

<i>Ejercicio.</i>											
Calcular el número de celdas de atrición (desenlodado) necesarias para tratar arenas que, según ensayos de laboratorio, requiere un tiempo de atrición de							18	t/h de			
Las celdas de atrición son de							220	litros.	La atrición debe realizarse al	70	% de
sólidos en peso. ($S_p = 70\%$). La densidad real de las arenas es de							2,6	t/m ³			
Calcular el número de celdas necesarias y el exceso de volumen de tratamiento											
<i>Solución:</i>											
Cantidad de agua necesaria para $S_p = 70\%$											
$S_p =$		sol		liq =		7,714	t/h	→	m ³ /h		
		sol + liq									
Cantidad de agua:		7,714		m ³ /h							
Cantidad de arena											
18	t/h	sol (arenas)		→	6,923	m ³ /h					
2,6	t/m ³										
Caudal total											
		sol + liq =		14,64	m ³ /h		→	243,96	l/min		
Tiempo de atrición de:		2,5		min							
Volumen total necesario, V_t :		243,96		l/min		x	2,5	min = 609,9 litros			
nº de celdas de		220		litros							
V_t	=	609,9	→	2,772	⇒						
V_{celda}	220										
nº de celdas:		$2 \cdot \{\text{Entero}[(V_{total} / V_{celda}) + 1]\}$		=		6	para dos líneas en paralelo				
Exceso de volumen de tratamiento (por línea):						8,2	%				
También se puede trabajar con tres líneas para un proceso más continuo:											
· Una línea en proceso			· Una línea en descarga			· Una línea en carga					