

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Consideraciones previas

En la sociedad actual se tiene muy en cuenta la protección del medio ambiente, la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción de residuos. Estos residuos deben ser estabilizados e inertizados para así evitar su efecto nocivo. Se debe garantizar la seguridad ambiental en el vertido de aquello que, por razones tecnológicas o económicas, no haya podido ser reutilizado.

Es muy alta la cantidad de residuo que no puede volver a incorporarse a los ciclos naturales o a las líneas de producción industrial, por las vías hasta ahora conocidas. Este puede llegar a ser un problema muy importante si no hallamos una solución, y mayor será el problema cuanto más tarde en llegar ésta, por lo que la investigación de nuevas vías de tratamiento resulta imprescindible.

En esta tesina se tiene en cuenta la problemática de los lodos secos resultantes de la depuración de aguas residuales. Los lodos de depuradora son el resultado de la depuración de aguas residuales que por su alto contenido en materia orgánica tienen un efecto contaminante muy importante por la presencia de innumerable cantidad y variedad de microorganismos patógenos y a su contenido en metales pesados.

La estabilización es el resultado de los procesos mediante los cuales se reducen o hasta eliminan las características indeseables de los lodos para una determinada aplicación. Actualmente existen varios métodos de estabilización y se usan unos u otros según las condiciones técnicas y económicas que se tiene a disposición, estos son: la digestión aerobia o anaerobia, el tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o con CaO , el compostaje, el secado y la incineración. El compostaje, es el único que implica un reciclaje al usar el lodo como abono o acondicionador del suelo, ya que todos los otros métodos tienen como resultado un vertido final del lodo.

Hasta ahora se han hecho varios estudios con el objetivo de determinar la posibilidad de la estabilización de los lodos de depuradora en una matriz de ligante hidráulico, como el cemento Pórtland, y ver como afecta a las propiedades físicas, químicas y mecánicas de hormigones y morteros.

1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo de esta tesina es determinar la posibilidad de la estabilización de los lodos de depuradora en una matriz con ligante hidráulico, como el cemento Pórtland. A la vez estudiaremos la posible aplicación en la construcción en ambiente marino de los materiales resultantes.

En esta tesina se van a determinar las propiedades mecánicas de morteros con adición de lodos secos de en diferentes concentraciones (2.5, 5 y 10%) si desde tempranas edades los ponemos en contacto con el agua de mar. En este trabajo vamos a estudiar estas propiedades para adiciones de lodos de la EDAR de Montornés y para la de Sabadell.

Los pasos que hemos definido para conseguir ese objetivo son los siguientes:

1. Caracterización de los componentes que intervienen en la fabricación del mortero: cemento Pórtland, arena, agua y los diferentes tipos de lodos secos.
2. Fabricación de probetas normalizadas de mortero con su adición de lodos de distintas procedencias y concentraciones, para su curado en agua de mar y agua dulce como referencia.
3. Realización de los ensayos necesarios para estudiar las propiedades mecánicas de las que queremos conocer los resultados.
4. Estudio y comparación de los resultados para los diferentes tipos de lodos, concentraciones y tipo de curado.
5. En el último capítulo se comentarán las conclusiones y posibles aplicaciones de estos morteros.
6. También se requiere una búsqueda de información bibliográfica y documentación sobre las características de los lodos producidos en Cataluña.

Si estos resultados fueran positivos tendríamos una buena aplicación para este tipo de morteros, como relleno de cajones flotantes en la construcción de diques para puertos. Esto sería muy interesante desde el punto de vista medioambiental, ya que hallaríamos una nueva posibilidad de vertidos para estos lodos de manera que quedarían completamente estabilizados, a la vez que ahorraríamos una gran cantidad de material de construcción procedente actualmente de canteras.

1.3 Situación actual de los lodos de depuradora

La producción de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas en Cataluña es de medio millón de toneladas/año aproximadamente. A su vez, la Directriz Europea sobre la depuración de aguas residuales –271/CEE de 1991- [1] establece la construcción de plantas depuradoras en las poblaciones con más de 2000 habitantes, antes del 2005. El marco temporal de este objetivo se ha avanzado en Cataluña unos siete años, lo que supone que, para principios de 1999, ya funcionan más de 300 depuradoras con una capacidad de tratamiento de 11 millones de habitantes equivalentes. Estas depuradoras son centros productores de lodos con unas cualidades variables que dependen del agua tratada, la línea de agua, la línea de lodos y de unas producciones que varían según las dimensiones de la planta y el régimen de estacionalidad del agua a tratar, sobre todo en las poblaciones costeras.

Una variable básica para el estudio de la problemática de los fangos de depuradora es su destino previsto, condicionado por su calidad y las condiciones de contorno de la planta, donde se pueden realizar distintos procesos como el compostaje, secado térmico o incineración, que más adelante pasaremos a detallar.

Para solucionar este volumen de residuo y su destino final, la *Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya* ha redactado un programa de tratamiento de los lodos de las

depuradoras de aguas residuales urbanas, dentro del marco del *Plan de Saneamiento de Aguas Residuales Urbanas (PSARU)* [2].

La orientación tecnológica del Plan de Saneamiento tiene dos vertientes:

1. Optar por la construcción de plantas de depuración de aguas residuales, según el tratamiento secundario biológico, que garantiza una mayor y mejor estabilización del lodo resultante. Reconvertir todas aquellas depuradoras existentes con tratamiento físico-químico a tratamiento secundario biológico. Esto es debido básicamente a la mejor calidad de depuración del tratamiento biológico y al menor volumen de los lodos generados.
2. Estudiar el destino final de los lodos para su correcta eliminación, con la disminución de su volumen mediante la deshidratación de hasta un 70-65%, como mínimo.

Con este plan se consigue aumentar la población equivalente servida y disminuir el volumen de lodo producido.

1.3.1 Proceso de producción de los lodos de depuradora

Los lodos que estamos tratando son los sólidos decantados en las EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales), tras el proceso de depuración de aguas residuales.

Una EDAR es una instalación donde las aguas residuales se someten a una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos eliminando así la materia en suspensión y las sustancias coloidales y disueltas (*figura 1.1*). Su funcionamiento se divide en dos partes: la línea de agua y la línea de fangos [3].

Figura 1. 1: Esquema de una EDAR [3].



La línea de agua va desde que el agua llega a la EDAR a través de los colectores, entrando en el pozo de gruesos (1), donde por medios mecánicos se extraen los elementos de mayor peso y tamaño. Después hay unas rejas de desbaste (2) retienen los sólidos. A continuación el agua se bombea (3) hasta una altura suficiente para que pueda circular a lo largo del resto de la planta, de ahí pasa a unas rejas menores (4) que

separan las partículas pequeñas y el desarenador/desgrasador donde se hunden las arenas y flotan las grasas. Ahora se separan los detritus (materia en suspensión) en el decantador primario (5) que es donde se obtienen los fangos primarios con una concentración del 7%. En el reactor biológico (6) y con aportación de oxígeno se elimina el resto de la carga contaminante por medios biológicos, después hay unos aireadores (7) que aportan el oxígeno para que se pueda eliminar el resto de la materia orgánica. Obtenemos los fangos secundarios con una concentración del 5%, que se depositan en el fondo del decantador secundario (8), a partir de aquí el agua se devuelve a la naturaleza, y el fango (tanto primario como secundario) sigue su tratamiento.

En la línea de fangos se recogen los primarios (9) y los secundarios (10) que aun son muy líquidos y se han someter a un proceso de espesamiento en un nuevo decantador (11 y 12). De ahí pasan al digestor anaerobio (13) donde se reduce la materia orgánica a la vez que se libera gas metano y se acumula en el gasómetro (14), si hay exceso de gas no se liberará sino que se quemará con una antorcha (15). El fango digerido acaba acumulándose en un depósito (16) a la espera del proceso de deshidratación (17) donde se elimina la mayor parte de agua posible quedando una concentración del 30% aproximadamente, y de esta manera se reduce el volumen y aumenta la comodidad de transporte, se hace mediante filtros banda, prensa o centrífugas. Una vez deshidratados se almacenan en un silo (18) esperando ser llevados hasta su destino definitivo: agricultura, jardinería, ¿morteros?,...

Hemos visto que en la depuración hay un proceso biológico y uno de digestión que seguidamente vamos a detallar más:

1.3.1.1 Proceso biológico [4]

Se elimina, estabiliza o transforma la materia orgánica no sedimentable que hay en el agua, funciona a partir de la acción metabólica y de floculación de algunos microorganismos.

Se usan algunas sustancias orgánicas y oxígeno, para poder originar nuevos microorganismos que crezcan, se reproduzcan y transformen la materia orgánica en agua limpia y productos volátiles como CO₂, NH₃ y materia viva.

1.3.1.2 Proceso de digestión [5]

La digestión es un proceso de estabilización de fangos en que permanecen en los digestores unos 28 días a una temperatura de 32°C, la digestión puede ser aerobia o anaerobia, en cualquier caso su resultado es el fango biológico. Con esto se consigue mineralizar la materia orgánica y concentrar los lodos producidos.

Digestión aerobia

Los propios lodos producidos en la depuración contienen microorganismos y elementos orgánicos que pueden empezar un proceso de fermentación.

En este tipo de digestión se somete a los lodos a una aireación que ayuda a que los microorganismos existentes mineralicen la materia orgánica dando como resultado anhídrido carbónico, agua y otros productos inorgánicos solubles.

Los microorganismos que actúan aquí son los mismos extraídos en las distintas etapas del proceso de depuración, principalmente en el proceso aerobio biológico.

Digestión anaerobia

Éste es el mejor método para obtener un producto final aséptico, aquí la descomposición de la materia orgánica se produce en ausencia de aire, el oxígeno que necesitan para su propio desarrollo las bacterias lo consiguen del alimento.

Esta digestión está dividida en varios procesos: la licuefacción, la gasificación y la mineralización que dan como resultado un lodo inerte y a más con una liberación de gases de los que con la tecnología adecuada se puede obtener energía.

1.3.1.3 Compostaje [6]

El compostaje es un proceso en el que los lodos sufren una degradación biológica hasta transformarse en un producto estable. Estos lodos después del compostaje quedan como un material tipo humus: higiénico y libre de características desagradables.

Una cuarta parte de los sólidos volátiles que contenían los lodos se convierten en dióxido de carbono y agua. Al producirse la descomposición de la materia orgánica contenida en los lodos el compost se calienta hasta alcanzar temperaturas situadas en el intervalo de pasteurización lo cual permite la destrucción de organismos patógenos.

Los fango después del compostaje se usan como acondicionadores de suelos en usos agrícolas y hortícolas.

El compostaje puede dividirse en cuatro fases: pretratamiento de materia orgánica con una trituración y una mezcla adecuada, fase intensiva donde se ataca la materia orgánica más débil, fase de maduración donde se recombinan las moléculas y se da tiempo para obtener una buena calidad y finalmente el postratamiento que da las características que requiere el mercado al producto.

Puede realizarse en condiciones aerobias o anaerobias:

- En condiciones aerobias, las bacterias aprovechan la energía contenida en la materia orgánica, realizan una oxidación biológica controlada lo más rápidamente posible. Para obtener un funcionamiento óptimo se han de dar unas características; como la relación carbono-nitrógeno de 30:1, necesidad de oxígeno, humedad del 60%, tamaño de partícula de entre 0,3-5 cm. y una temperatura de entre 60 y 70 °C. Las moléculas compuestas, complejas e inestables pasan a ser simples para luego volver a moléculas complejas pero ahora siendo materia orgánica estable. Se obtiene un producto que se parece a la tierra vegetal o humus, puesto en el terreno se va biodegradando lentamente liberando los nutrientes que tiene. Esto se aplica a pilas de materia orgánica.
- También se puede obtener compost por medio de la digestión anaerobia. En ausencia de oxígeno las bacterias se alimentan también de proteínas, lípidos... y acaban produciendo biogás. También se requiere de unas buenas condiciones como la relación de carbono-nitrógeno de 30:1, humedad mayor del 75%, ir añadiendo energía al sistema y dos temperaturas, la mesofílica y la termofílica.

1.3.2 Producción total de fangos en Cataluña [7]

Estos datos han sido recopilados por el ACA (*Agència Catalana de l'Aigua*) [7] este mismo año 2003 y son referentes a la producción total de biosólidos y su evolución desde el año 1998 al 2002. En las siguientes tablas y gráficos vemos dicha producción en función del tipo de fango para el conjunto de depuradoras de Cataluña a excepción de la del Besós y la de Montcada.

En la *tabla 1.1* y en los *gráficos 1.1* y *1.2* están resumidos los números de producción de fangos físico-químicos y biológicos, y su materia seca asociada desde el año 1998 al 2002.

Tabla 1. 1. Producción de fangos físico-químicos y biológicos. Años 1998-2002 [7]

TIPUS	1998			1999			2000			2001			2002		
	t MF	t MS	% MS	t MF	t MS	% MS	t MF	t MS	% MS	t MF	t MS	% MS	t MF	t MS	% MS
FANG BIOLÒGIC	329.634	60.366	18,3	404.982	78.420	19,4	424.999	82.429	19,4	423.406	79.422	18,8	424.404	85.134	20,1
FANG FÍSICO-QUÍMIC	61.605	19.583	31,8	20.254	5.576	27,5	12.216	3.209	26,3	7.553	2.002	26,5	0	0	0,0
TOTAL	391.238	79.949	20,4	425.236	83.996	19,8	437.215	85.638	19,6	430.959	81.424	18,9	424.404	85.134	20,1

Gráfico 1. 1. Evolución del porcentaje de fangos físico-químicos y biológicos

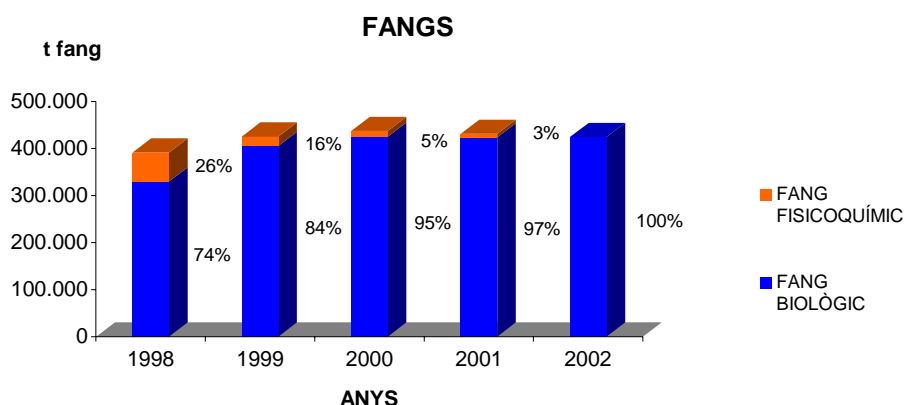
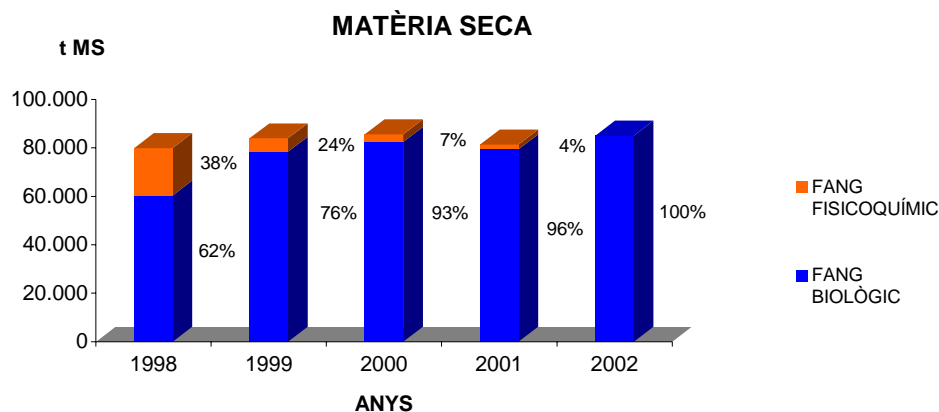


Gráfico 1. 2. Evolución de la Materia Seca de los fangos físico-químicos y biológicos



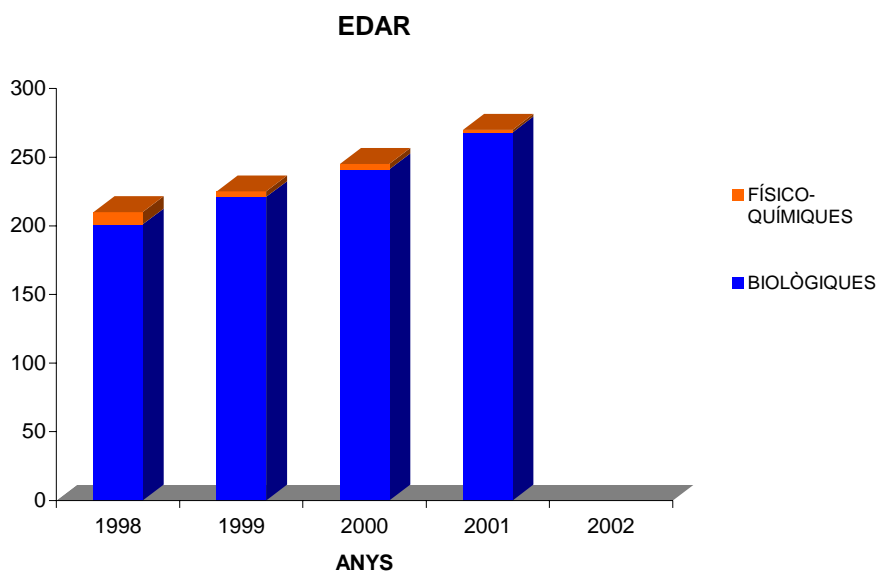
A partir de estos datos vemos que hasta el año 2000 la producción de fangos ha evolucionado al alza, mientras que a partir de ese punto se ha mantenido o incluso ha disminuido la producción. Si miramos con más detalle esos datos vemos que la disminución de producción de fangos se debe a la disminución notable de producción de fango físico-químico, ya que la producción de fangos biológico no disminuye, sino que se mantiene constante.

Otros datos interesantes relacionados con este tema es el número de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales y su evolución en los últimos cinco años, estos datos que vemos en la *tabla 1.2* y el *gráfico 1.3* nos indican que tal como veíamos antes, las EDAR físico-químicas han ido reduciendo su número, mientras que las biológicas no han dejado de aumentar de 201 en el 1998 hasta 268 en el 2002, esto supone un aumento del 33% en 5 años.

Tabla 1. 2. EDAR en funcionamiento. Años 1998-2002 [7]

TIPUS	1998	1999	2000	2001	2002
BIOLÒGIQUES	201	221	241	268	
FÍSICO-QUÍMIQUES	9	4	4	2	1
TOTAL	210	225	245	270	

Gráfico 1. 3. EDAR en funcionamiento. Años 1998-2002



1.3.3 Destinos actuales del lodo de depuradora

Dentro de los lodos vamos a diferenciar los biosólidos de la materia seca a la hora de definir sus destinos. Los datos que vamos a usar están sacados directamente de las bases de datos del ACA para el año 2002 [7].

1.3.3.1 Destinos actuales de los biosólidos [7]

Primero vamos a analizar los destinos de los biosólidos cuyos datos vemos en la *tabla 1.3* y *gráficos 1.4*:

Tabla 1. 3. Destino de los biosólidos en Toneladas para el año 2002 [7]

DESTINACIÓ PRINCIPAL	G	F	MÇ	AB	MG	JN	JL	AG	S	OC	N	D	ANY
AGRICULTURA I JARDINERIA	24.149	21.001	21.928	20.038	17.259	18.030	21.232	21.088	18.526	26.706	19.073	19.429	248.459
RESTAURACIONS	6	210	430	347	676	448	270	20	7	13	144	90	2.661
ABOCADORS	12.198	8.031	12.766	12.991	13.055	11.667	14.034	7.413	8.430	11.318	10.379	10.942	133.223
ALTRES DESTINACIONS			15										15
TOTAL	36.353	29.242	35.140	33.376	30.989	30.146	35.536	28.520	26.963	38.036	29.596	30.461	384.358

Gráfico 1.4. Destinos de los biosólidos el año 2002



Al observar estos datos lo primero que vemos es que principalmente su destino es la agricultura y jardinería donde se usa directamente como abono, llegando a prácticamente el 65%. El siguiente destino, por importancia, es el vertedero, donde directamente se tira este material tan contaminante, esto tiene un gran problema medioambiental asociado, ya que el vertido no aporta nada bueno, y en cambio ocupa un espacio en el territorio que ya está sobre-explotado por todo tipo de vertidos. Hay otros destinos pero con una importancia muchísimo menor.

También podemos diferenciar a vista de los datos de la *tabla 1.4* y *gráfico 1.5* entre los distintos tratamientos que se le pueden dar a estos biosólidos en función del destino que vayan a tener. Los posibles tratamientos son el *compostaje*, las *digestiones* o el *secado térmico*. Tal como hemos comentado antes, la mejor solución sería el compostaje y su posterior aplicación de los fangos como abono en jardinería y agricultura, pero este ámbito tiene un uso limitado, ya que no se necesita más compost del que ya hay en el mercado y aunque se produjera más no se podría colocar.

Tabla 1. 4. Tratamientos de los biosólidos [7]

TRATAMIENTO DE FANGOS ¹	G	F	MÇ	AB	MG	JN	JL	AG	S	OC	N	D	ANY
COMPOSTAJES ACA	1.560	1.320	1.249	1.514	1.819	1.728	2.946	2.772	2.520	2.389	1.538	1.590	22.947
SECADOS TÉRMICOS(*)	1.633	1.726	2.159	3.583	3.301	2.661	2.775	2.761	2.901	2.807	3.305	3.660	33.270
DIGESTIONES (**)	13.817	12.291	13.377	12.553	12.353	11.580	13.531	10.925	9.800	11.310	10.260	11.667	143.463
TOTAL	17.010	15.337	16.785	17.650	17.472	15.969	19.252	16.458	15.221	16.506	15.102	16.918	199.679

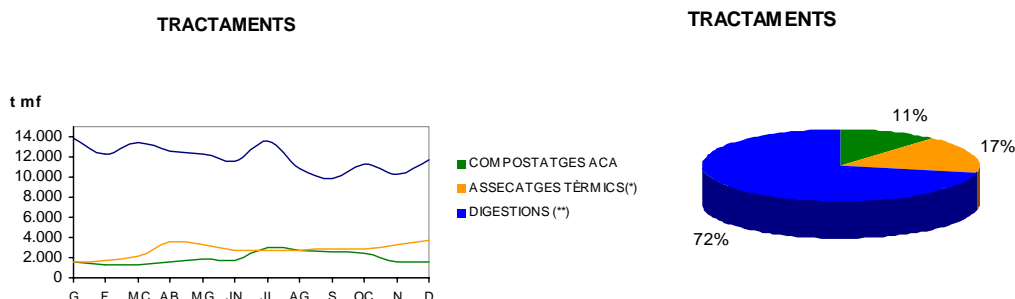
*SIN EL SECADO TERMICO DEL

BESÓS

¹UNIDADES EN TONELADAS

**ANAERÒBIA/AERÒBIA

Gráfico 1.5. Tratamiento de los biosólidos para el 2002



A la vista de estos datos puede resumirse que casi tres cuartas partes de la producción de lodos se trata en decantadores, mientras que solo una pequeña parte se trata mediante secado térmico o mediante compostaje.

En las dos tablas siguientes (*tabla 1.5* y *tabla 1.6*), tenemos un resumen de la totalidad de fangos tratados por el ACA durante el año 2002.

Tabla 1. 5. Resumen de todos los fangos tratados durante el 2002 [7]

RESUM	G	F	MÇ	AB	MG	JN	JL	AG	S	OC	N	D	ANY
TOTAL FANG GENERAT	38.345	30.526	36.453	36.678	34.636	33.299	39.919	33.079	31.522	42.157	33.178	34.611	424.404
TOTAL FANG TRACTAT (ACA)	17.010	15.337	16.785	17.650	17.472	15.969	19.252	16.458	15.221	16.506	15.102	16.918	199.679
TOTAL FANG ELIMINAT	36.353	29.242	35.140	33.376	30.989	30.146	35.536	28.520	26.963	38.036	29.596	30.461	384.358
DESHIDRATACIÓ*	3.367	2.718	3.341	2.939	3.227	3.559	3.670	3.883	3.281	3.205	3.008	2.918	39.116

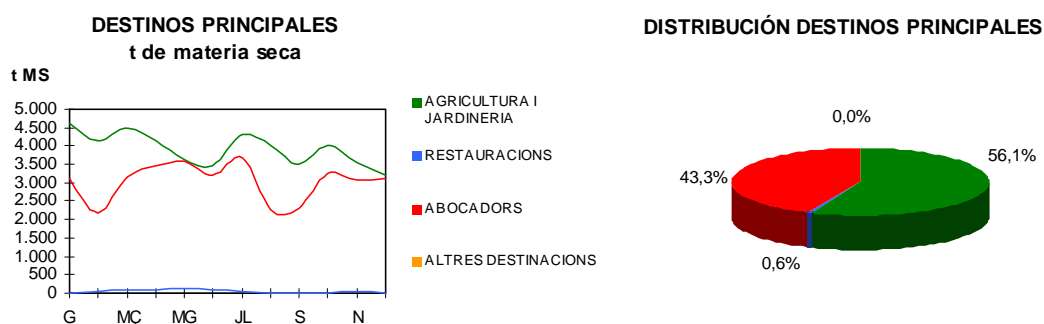
*BIOSÒLIDS LÍQUIDS DESHIDRATATS EN EDAR'S EXTERNES

1.3.3.2 Destinos actuales de la materia seca

Igual que con los datos de los biosólidos, podemos ver los datos ofrecidos por el ACA en la *tabla 1.6* y *gráfico 1.6*.

Tabla 1. 6. Datos de destinos de toneladas de materia seca producida en Cataluña [7]

DESTINO PRINCIPAL	G	F	MÇ	AB	MG	JN	JL	AG	S	OC	N	D	ANY
AGRICULTURA Y JARDINERIA	4.631	4.134	4.471	4.135	3.619	3.475	4.317	4.012	3.504	4.005	3.566	3.217	47.087
RESTAURACIONES	1	46	95	66	139	77	62	3	1	2	29	19	540
VERTEDEROS	3.099	2.195	3.166	3.480	3.573	3.196	3.690	2.244	2.310	3.233	3.065	3.102	36.352
OTROS DESTINOS			3										3
TOTAL	7.730	6.375	7.735	7.681	7.332	6.748	8.068	6.259	5.815	7.240	6.660	6.339	83.982

Gráfico 1.6. Destinos de la materia seca producida en Cataluña

Los datos de destinos de materia seca son muy parecidos a los de biosólidos, por eso no cabe ningún comentario que no se haya hecho ya.

1.3.4 Problemática presente y futura de los lodos

La creciente y la progresiva implantación de nuevas y de exigentes directrices en la gestión de residuos en las sociedades industrializadas, con la perspectiva de un desarrollo sostenible, requieren de la investigación de alternativas válidas y eficaces a la simple disposición en vertederos.

Es conocido el gran volumen de lodo de depuradora generado y su toxicidad. Las aplicaciones más inmediatas actualmente, ya descritas, no son suficientes para el volumen generado y, debido a los diversos tipos y naturalezas de lodos, por lo que actualmente una gran parte de este lodo es depositado en el mar.

La aplicación del lodo como abono agrícola, con la problemática ambiental asociada, se realiza vía compostaje o de forma directa al suelo. La aplicación directa del lodo se puede hacer con lodo en estado líquido o deshidratado, mientras que para el proceso del compostaje se necesita un lodo con una humedad inferior al 65%. El compost es un producto de la descomposición biológica de un substrato orgánico en un medio aerobio. Las limitaciones de la aplicación agrícola de los lodos son las concentraciones máximas de metales pesados, límites que vienen fijados por la Directriz Europea CE 86/278 [8] y el Decreto 1310/90/BOE [9], (ver *tabla 1.7*).

Tabla 1. 7: Límites de la concentración de metales pesados en los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas [8] [9].

Metales	Límites (mg metal / kg residuo seco)	
	pH suelo < 7	pH suelo >7
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Níquel	300	400
Plomo	750	1200
Cromo	1000	1500
Cinc	2500	4000
Mercurio	16	25

Una de las posibles soluciones más inmediata es la incineración, que hoy en día es uno de los sistemas de eliminación de residuos más eficaces, pero supone serios problemas económicos y medioambientales (emanación de gases y productos altamente tóxicos).

Este trabajo se sitúa en el marco del tratamiento y reciclado de los residuos, con el fin de estabilizarlos e inertizarlos, para a continuación explorar la posibilidad de su utilización en la construcción civil.

Los lodos de depuradora plantean el problema de la presencia de la materia orgánica, de los microorganismos patógenos y los contaminantes químicos, principalmente los metales pesados. Existen trabajos que reciclan estos residuos a partir de las cenizas de su incineración, esto supone que se han eliminado en el proceso los microorganismos y la materia orgánica, no sin embargo, los metales pesados que permanecen aún más concentrados, debido a la reducción de volumen, como el cinc, el níquel y el manganeso. En cambio, el mercurio, el cromo y el plomo se volatilizan emitiéndose a la atmósfera.

1.4 Estado del arte

De unos años a esta parte ha habido algunas publicaciones y trabajos experimentales, incluyendo algunas tesis doctorales y tesinas de compañeros de esta misma escuela, intentando buscar una estabilización de residuos contaminantes del medio ambiente siendo ligados por cemento y pasando las pruebas de lixiviación, también se ha estudiado como afecta la adición de lodos sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de morteros y hormigones.

El primero de los trabajos realizados en esta escuela que estudia la posible aplicación de los lodos húmedos de depuradora como adición al mortero u hormigón para construcción es la Tesis Doctoral de Susana Valls [10], en la que se trata la problemática de la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción de los residuos de la construcción, en concreto se centra en los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales y en la posibilidad de la estabilización y la solidificación de estos lodos en una matriz con ligante hidráulico, como el cemento Pórtland. Así como las posibilidades de obtención de materiales aplicables a la construcción.

En esta misma Tesis se estudia también la posibilidad de usar como árido grueso material de reciclaje de demolición, aunque este tema no tiene relación directa con la tesina que estamos presentando.

Los objetivos tratados, respecto a los lodos, en la Tesis de Susana Valls son: caracterización de los componentes; estudio del comportamiento y la evolución de la aglomeración del lodo en la matriz de Pórtland, estimando la cantidad máxima aconsejable de adición de lodos, determinando la estabilidad del sistema y la inertización inorgánica en el tiempo; estudio de la estabilización y solidificación del lodo húmedo de depuradora para el sistema de mortero (caso de esta tesina) optimizando dosificaciones, estudiando la microestructura y su durabilidad; análisis de la posible aplicación del lodo de depuradora como constituyente en un material de construcción tanto en un hormigón en masa como constituyente de una grava-cemento para bases y subbases de carreteras.

Las conclusiones de dicha Tesis respecto a la adición de lodos en la matriz lodo-cemento son: el tipo de cemento Pórtland recomendado es un I 45/A (según la antigua norma RC que corresponde, en la actual, a un CEM I 52,5), cemento de resistencia media-alta; que el máximo recomendado de la adición de lodo húmedo en el sistema lodo-cemento es de un 35%, porcentaje que disminuye substancialmente si se añaden también cenizas volantes; la estabilidad física se mantiene, así como la microbiológica y orgánica debida a la alta alcalinidad del sistema creado.

En cuanto a las conclusiones obtenidas por Susana Valls en su Tesis respecto al comportamiento de los lodos secos adicionados en morteros también recomienda una dosificación máxima del 35%; se nota que la demanda de agua es menor, por la humedad elevada de los lodos; el tiempo de desmolde varía en función de la cantidad de lodos y de forma proporcional a ésta; la presencia de lodo hace que disminuya la resistencia mecánica del sistema cemento-arena-lodo, esta disminución es suficientemente importante como para poder afectar a la posible aplicación práctica de esta adición; en cuanto a las propiedades físicas, la porosidad aumenta a la vez que disminuye la densidad, aunque en ningún caso provoca expansión. Por otro lado, hay las conclusiones medioambientales que aseguran la retención total de los contaminantes

estudiados así como de los metales pesados con los que se asegura una retención mínima del 90%. En cuanto a la microestructura no hay diferencia entre un mortero convencional y otro con adición de lodos secos de depuradora.

Otros trabajos sobre la adición de lodos secos a hormigones o morteros de cemento Pórtland han sido realizados por compañeros míos como Ana Laporta o Cristian Mariscal.

Por un lado la Tesina de Ana Laporta ha tenido como objetivo el estudio de las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de hormigones con adición de lodos secos de la depuradora de Montornés, y las conclusiones que ha sacado sobre el tema son: que la adición del lodo a la pasta de cemento provoca una disminución de la velocidad de fraguado, la densidad de un hormigón con adición de lodos disminuye, mientras que la porosidad y capacidad de absorción es mayor en el hormigón con lodos, lo que se observa claramente es la disminución de la resistencia al añadirle lodos. Los ataques por agua de mar y sulfatos apenas notan la diferencia entre el hormigón con adición de lodos y el de referencia. Lo que se deja claro, es que a causa de la disminución de resistencia y el aumento en el tiempo de fraguado no se deberá usar, ni tendrá aplicación en el campo del hormigón estructural.

Finalmente la Tesina de Cristian Mariscal, tiene los mismos objetivos que la de Ana Laporta, pero con lodos secos provenientes de la depuradora de Sabadell, y sus conclusiones son prácticamente las mismas.

El presente trabajo se centra en el estudio de las propiedades mecánicas exclusivamente, pero con adiciones de lodos secos tanto de la depuradora de Montornés como de la de Sabadell y comparando los efectos de dos tipos de curado:

- Sumergido en agua de mar
- Sumergido en agua dulce