



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Residuos generados en la ENM: cuantificación y posibilidades de
tratamiento*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Fontán González-Aller, Jesús

DIRECTORES: Maceiras Castro, Rocío
Pérez Rial, Leticia

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Residuos generados en la ENM: cuantificación y posibilidades de
tratamiento*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

En la actualidad, uno de los principales problemas es la enorme generación de residuos que se produce y que, en caso de carecer del tratamiento adecuado, se convierten en una fuente importante de contaminación. Las políticas cada vez más restrictivas y la mayor concienciación ciudadana están llevando a una mejora en la gestión y tratamiento de los residuos.

Las Fuerzas Armadas, al igual que otras instituciones públicas, no son ajenas a este panorama y es por ello que el presente trabajo se ha centrado en la identificación y cuantificación de los residuos producidos en la Escuela Naval Militar de Marín, así como en la gestión o tratamiento que reciben. En base a los datos obtenidos se ha realizado un análisis de las alternativas de tratamiento de residuos sólidos más adecuadas, seleccionando aquellas que se consideran más viables de acuerdo a diferentes criterios (económicos, viabilidad técnica, complejidad, etc.). Las opciones finalmente seleccionadas, el compostaje y la instalación de una caldera de biomasa, permitirían la transformación de determinadas tipologías de residuos generados en la Escuela en recursos de valor contribuyendo a la denominada economía circular, eje central de muchas de las políticas ambientales que actualmente se encuentran en vigor.

PALABRAS CLAVE

Residuo, Tratamiento, Cuantificación, Escuela Naval Militar, Gestión

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerles a mis tutoras del TFG Rocío Maceiras Castro y Leticia Pérez Rial por guiarme el camino en este trabajo que tras un gran esfuerzo por ambas partes se ha conseguido finalizar solucionando los diferentes problemas que han ido apareciendo y gracias por la paciencia que han tenido conmigo durante estos últimos meses.

En segundo lugar, querría agradecer estos cinco años de Escuela a mis compañeros de la promoción 422 y 152, por hacer que los años pasen más rápido y de forma más amena. En especial quisiera darles las gracias a mis compañeros de camareta Emilio, Saso y Paco por el apoyo estos dos últimos años y sobre todo durante el transcurso del TFG.

Y, por último, y no menos importante, quiero agradecer a mi familia todo el apoyo que me han dado tanto en los momentos malos como en los buenos, y en especial a mi padre por ser mi ejemplo a seguir y darme durante estos cinco años los consejos necesarios para seguir adelante.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Motivación del trabajo.	9
1.2 Objetivos	10
2 Estado del arte	11
2.1 Problemática actual asociada a la generación de residuos	11
2.2 Residuos y clasificación.....	12
2.2.1 Definición	12
2.2.2 Tipos de residuos	13
2.2.2.1 Según su origen	13
2.2.2.1.1 Domésticos/Urbanos	13
2.2.2.1.2 Comerciales	14
2.2.2.1.3 Industriales	14
2.2.2.1.4 Sanitarios	15
2.2.2.2 Según su peligrosidad.....	16
2.2.2.2.1 Residuos peligrosos	16
2.2.2.2.2 Residuos no peligrosos	16
2.2.3 Legislación existente	16
2.2.3.1 Normativa del Ministerio de Defensa	17
2.2.3.2 Normativa de la Armada Española.....	17
2.2.4 Gestión de residuos.....	18
2.2.4.1 Estaciones de transferencia	19
2.2.4.2 Tratamiento y reciclaje de frigoríficos	20
2.2.4.3 Tratamiento y reciclaje de residuos de pilas	20
2.2.4.4 Valorización de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos.....	20
2.2.4.5 Tratamiento y reciclaje de vehículos fuera de uso (VFU).....	21
2.2.4.6 Depósitos controlados (vertederos)	21
2.3 Tipos de tratamiento para los diferentes tipos de residuos	22
2.3.1 Plantas incineradoras	22
2.3.2 Plantas de compostaje.....	22
2.3.3 Tratamiento mecánico-biológico	23
2.3.4 Tratamiento físico-químico	23

2.3.5 Recuperación de residuos de disolventes orgánicos	24
2.3.6 Regeneración de aceites industriales usados	24
2.3.7 Tratamiento de residuos de vidrio	24
2.4 Descripción de la ENM.....	25
2.4.1 Marco histórico	25
2.4.2 Marco geográfico	26
2.4.3 Marco institucional	27
2.4.4 Marco ambiental	28
3 Desarrollo del TFG.....	29
3.1 Situación actual en la ENM	29
3.1.1 Reconocimiento de la ENM.....	30
3.1.1.1 Puntos generadores de residuos.....	31
3.1.1.2 Punto de recogida de residuos	36
3.1.2 Identificación de los residuos.	42
3.1.2.1 Residuos urbanos o asimilables a urbanos	43
3.1.2.2 Residuos industriales no peligrosos	43
3.1.2.3 Residuos peligrosos	44
3.1.3 Gestión de residuos.....	45
3.1.3.1 Residuos urbanos o asimilables a urbanos	46
3.1.3.2 Residuos industriales no peligrosos	47
3.1.3.3 Residuos peligrosos	47
3.1.3.3.1 Residuos sanitarios	48
3.1.4 Cuantificación de los residuos.	49
3.1.4.1 Residuos peligrosos	50
3.1.4.2 Residuos urbanos.....	54
3.2 Evaluación de alternativas de tratamiento	55
3.2.1 Residuos orgánicos	55
3.2.1.1 Compostaje	56
3.2.1.2 Digestión anaeróbica	58
3.2.2 Biomasa lignocelulósica	59
3.2.2.1 Pirólisis.....	59
3.2.2.2 Combustión (caldera de biomasa)	60
3.3 Selección de alternativas más viables	62
3.3.1 Justificación de la elección	62
3.3.2 Compostaje	62
3.3.2.1 Alternativas propuestas	62
3.3.2.1.1 Contenedores de compostaje	62

3.3.2.1.2 Planta de compostaje	66
○ Cálculos de la mezcla óptima	66
3.3.2.2 Utilidad en la ENM	68
3.3.2.3 Ubicación de las instalaciones.....	68
3.3.2.4 Análisis económico	69
3.3.2.4.1 Planta de compostaje	69
3.3.2.4.2 Contenedores de compostaje	69
3.3.3 Digestión anaeróbica	70
3.3.3.1 Cálculos volumen digestor	70
3.3.3.2 Utilidad del biogás obtenido.....	71
3.3.3.3 Análisis económico	71
3.3.4 Caldera de biomasa.....	71
3.3.4.1 Finalidad del calor generado	72
3.3.4.2 Cálculos potencia	72
3.3.4.3 Análisis económico	77
3.3.5 Conocimiento personal ENM	77
4 Conclusiones y líneas futuras	81
4.1 Conclusiones	81
4.2 Líneas futuras	82
5 Bibliografía.....	83
Anexo I: Especificaciones técnicas de las calderas Eco HK 20kW	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Consideración de residuos.....	12
Figura 2-2 Requisitos para que un residuo deje de serlo.	12
Figura 2-3 Residuos domésticos/urbanos [7].....	13
Figura 2-4 Residuos sólidos urbanos generados en España.....	14
Figura 2-5 Residuos industriales [9].	15
Figura 2-6 Residuos sanitarios [11].	15
Figura 2-7 Residuos peligrosos [13].	16
Figura 2-8 Soldados ayudando en una catástrofe medioambiental [15].	17
Figura 2-9 Armada española ayudando en catástrofe medioambiental de La Palma [17].....	18
Figura 2-10 Pirámide jerárquica de la gestión de residuos.	19
Figura 2-11 Estación de transferencia [19].	20
Figura 2-12 Vehículo en el desguace [20].	21
Figura 2-13 Depósito controlado subterráneo [21].	21
Figura 2-14 Incineradora [22].	22
Figura 2-15 Planta de compostaje [24].	23
Figura 2-16 Tratamiento físico-químico [25].	24
Figura 2-17 Regeneración de aceite [26].	24
Figura 2-18 Academia de Guardias Marinas [27].....	25
Figura 2-19 Entrada Escuela Naval Militar [28].....	26
Figura 2-20 Buque escuela Juan Sebastián de Elcano [29].	26
Figura 2-21 Foto aérea Escuela Naval Militar [30].	27
Figura 2-22 Relevé de director de la ENM [30].	27
Figura 3-1 Pasos del análisis del trabajo.....	29
Figura 3-2 Organigrama ambiental de la ENM.	30
Figura 3-3 Mapa de la ENM. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 3-4 Barrio Industrial.	32
Figura 3-5 Hospital ENM.	32
Figura 3-6 Cocina de la ENM.	32
Figura 3-7 Cuarteles de la ENM a) Cuartel Marqués de la Victoria, b) Cuartel Almirante Francisco Moreno y c) Cuartel Méndez Núñez.....	33
Figura 3-8 Zona Aprovisionamiento.....	34
Figura 3-9 Muelle Almirante Vierna.	34
Figura 3-10 Edificio Casino de Alumnos.	35
Figura 3-11 Patio de Aulas.....	35
Figura 3-12 Jefatura de Instrucción.	35

Figura 3-13 Zona de Dirección a) Instalaciones deportivas y b) Edificio de Dirección.....	36
Figura 3-14 Ubicación de los contenedores en la ENM.	36
Figura 3-15 Contenedores barrio industrial.	37
Figura 3-16 Contenedores Cocina de Alumnos.	37
Figura 3-17 Contenedores del Marques de la Victoria y Casino de Alumnos.....	38
Figura 3-18 Contenedores del cuartel Almirante Francisco Moreno.....	38
Figura 3-19 Contenedores Zona de Aprovisionamiento.	39
Figura 3-20 Contenedores Muelle Almirante Vierna.	39
Figura 3-21 Contenedores entre Patio de Aulas y Jefatura de Instrucción.	40
Figura 3-22 Contenedor residuos orgánicos.	40
Figura 3-23 Contenedor de plásticos.	40
Figura 3-24 Contenedor de papel y cartón.....	41
Figura 3-25 Contenedor de vidrio.	41
Figura 3-26 Residuos en el Punto Limpio a) Zona de almacenaje, b) Fluorescentes y aparatos electrónicos, c) Aceite usados y d) Residuos sanitarios.....	42
Figura 3-27 Esquema Residuos Urbanos y asimilables a Urbanos en la ENM.	43
Figura 3-28 Esquema gestión de Residuos Industriales No Peligrosos.	44
Figura 3-29 Esquema Residuos Peligrosos.....	45
Figura 3-30 Orden jerárquico de la recogida de residuos.	45
Figura 3-31 Organigrama gestión de residuos ENM.	46
Figura 3-32 Recogida de contenedor de papel y cartón.....	46
Figura 3-33 Pictograma identificativo de los contenedores o envases destinados a residuos peligrosos.	48
Figura 3-34 Pictograma de Biorriesgo [32].....	48
Figura 3-35 Cuantificación residuos.	49
Figura 3-36 Residuos generados en la ENM en el año 2021.	49
Figura 3-37 Residuos peligrosos.....	51
Figura 3-38 Gráfica de aceite usado frente a aguas de las sentinas.	51
Figura 3-39 Gráfica cantidad aparatos electrónicos.....	52
Figura 3-40 Gráfica del tóner.....	52
Figura 3-41 Gráfica de productos químicos.....	53
Figura 3-42 Gráfica de residuos sanitarios.	53
Figura 3-43 Porcentaje de residuos peligrosos generados en la ENM en el año 2021.	54
Figura 3-44 Porcentaje de residuos urbanos producidos en la ENM durante el año 2021.	55
Figura 3-45 Proceso de compostaje [33].....	56
Figura 3-46 Fases del compostaje [34].	56
Figura 3-47 Pila de compost [35].....	57

Figura 3-48 Etapas de la digestión anaerobia.	58
Figura 3-49 Cantidad y tipo de residuos susceptibles de ser tratados en la ENM.	62
Figura 3-50 5 UMC en paralelo.	63
Figura 3-51 Proceso para 6 UMC [36].	64
Figura 3-52 Proceso para 10 UMC [36].	65
Figura 3-53 Ubicación de contenedores de compostaje.	66
Figura 3-54 Contenedores de compostaje a) estructurante y b) residuos orgánicos en Fase I.	66
Figura 3-55 Ubicaciones de propuesta de compostaje.	68
Figura 3-56 Características de la trituradora seleccionada [37].	72
Figura 3-57 Ubicación vestuario de la caldera de biomasa (vestuario de Oficiales).	75
Figura 3-58 Caldera Hargassner ECO-HK 20 kW. Fuente: Hargassner.	75
Figura 3-59 Partes y dispositivos de la caldera Hargassner ECO-HK 20 kW. Fuente: Hargassner.	76
Figura 3-60 ENM involucrada con el medioambiente.	78
Figura 3-61 Consciencia del personal ENM.	78
Figura 3-62 Charla medioambiente.	79
Figura 3-63 Utilidad de una charla.	79
Figura 3-64 Tratamiento en la ENM.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Distribución de contenedores de residuos orgánicos.....	40
Tabla 3-2 Distribución de contenedores de plástico.	40
Tabla 3-3 Distribución de contenedores de papel y cartón.	41
Tabla 3-4 Distribución de contenedores de vidrio.	41
Tabla 3-5 Residuos peligrosos.	50
Tabla 3-6 Cuantificación Residuos Peligrosos menos comunes.....	54
Tabla 3-7 Resumen residuos urbanos generados en la ENM.....	55
Tabla 3-8 Parámetros que influyen en el compostaje.	57
Tabla 3-9 Tipos de pirólisis.	60
Tabla 3-10 Parámetros que influyen en la combustión.....	61
Tabla 3-11 Relaciones C/N [35].	67
Tabla 3-12 Presupuesto planta de compostaje [35].	69
Tabla 3-13 Presupuesto contenedores de compostaje [36].	69
Tabla 3-14 Calderas destinadas a calefacción en la ENM.	73
Tabla 3-15 Coste caldera de astillas [38].	77
Tabla 3-16 Coste de trituradora [36].....	77

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación del trabajo.

Hoy en día, dado el enorme desarrollo industrial, demográfico y energético, el cuidado del medioambiente es algo esencial para la humanidad. Esto es importante puesto que todos los recursos que se necesitan se obtienen del medio en el que vivimos, el agua que se bebe, los alimentos que se comen, los minerales que se utilizan en los procesos productivos, los recursos energéticos que permiten a las personas a vivir, etc. El ser humano en su vida rutinaria genera grandes cantidades de residuos de diferentes tipologías los cuales deben ser tratados de manera adecuada para evitar la contaminación y la consecuente destrucción del medioambiente, buscando siempre la reutilización de los mismos o el reciclaje. El carácter limitado de los recursos y la mala praxis llevada a cabo por el ser humano durante años ha desencadenado la búsqueda de soluciones sostenibles que permitan paliar los efectos causados hasta el momento sobre el entorno que rodea.

En este contexto, la reutilización y el reciclaje son herramientas fundamentales para la gestión responsable de los residuos. La concienciación ciudadana es clave para poder conseguirlo y con ello lograr un ahorro de recursos, la disminución del nivel de contaminación actual, ahorrar energía, frenar la destrucción de la biodiversidad o disminuir el volumen ocupado por los desperdicios, entre otros [1].

El problema del tratamiento de residuos es un problema a nivel global, estos últimos años se ha ido convirtiendo en uno de los temas más recurrentes en el Gobierno, lo que ha provocado que todos los Ministerios, incluido el Ministerio de Defensa, se hayan visto obligados a actuar al respecto. Actualmente se están tomando diferentes medidas con el objetivo principal de buscar soluciones a las elevadas cantidades de residuos generadas por los ciudadanos. Es por ello que se ha elaborado una legislación específica en materia de residuos que debe ser cumplida, especialmente por los grandes generadores de residuos como son las empresas. Para hacerse una idea de la magnitud del problema, solo en España en el año 2019 se han generado un total de 22 toneladas de residuos de carácter doméstico y comercial, incluyendo únicamente los gestionados por los municipios y no aquellos gestionados por los canales privados [2].

El Ministerio de Defensa ha adaptado su actuación a los Ejércitos y la Armada, puesto que no producen la misma tipología de residuos, a pesar de que muchos de ellos coincidan, poseen diferentes tipos de instalaciones, vehículos, buques y aeronaves, etc. En cuanto a la Armada se refiere, se han tomado diferentes medidas para las distintas unidades que la integran, desde los buques hasta las dependencias de tierra (arsenales, residencias, escuelas...).

En el caso concreto de la Escuela Naval Militar (ENM) de Marín, se producen residuos de diferente naturaleza que abarcan desde residuos urbanos generados en el día a día de la Escuela hasta residuos peligrosos producidos en los laboratorios del Centro. A día de hoy, todos ellos se recogen y se

almacenan para que una empresa privada se haga cargo del transporte, la valorización y la eliminación de los residuos. Por lo tanto, la ENM no trata los residuos como tal, pero ¿podría llegar a ser rentable tratar los residuos en la propia ENM?

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es hacer un estudio de los diferentes residuos que son generados en la ENM, identificándolos y cuantificándolos además de describir el tipo de gestión que se está llevando a cabo en la actualidad. Asimismo, se estudiarán distintas alternativas de tratamiento, así como la posibilidad de su implementación. Para ello, se establecen los siguientes objetivos secundarios:

- I. Identificar las diferentes opciones de tratamiento de residuos sólidos.
- II. Hacer un estudio de aquellas alternativas de tratamiento susceptibles de ser implementadas en la ENM acorde a las instalaciones, cantidades generadas y conocimientos necesarios para su operatividad diaria.
- III. Realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de las opciones planteadas.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Problemática actual asociada a la generación de residuos

A medida que ha aumentado el desarrollo de la humanidad se ha producido un constante aumento en la generación de residuos. El principal causante de esto es el ser humano que, con el crecimiento exponencial de nuevas infraestructuras, el aumento de la población mundial y el mal uso de diferentes productos, provoca que la generación de residuos sea insostenible.

Un enorme problema al respecto es la falta de concienciación del ser humano sobre el impacto que generan las basuras en el medioambiente que, unido al ya mencionado crecimiento mundial, hace que cada vez sean mayores los efectos del daño causado.

Diferentes estudios garantizan que para el 2050, sino se llevan a cabo nuevas medidas urgentes de tratamiento de residuos, los desechos mundiales crecerán hasta un 70% con respecto a los niveles actuales. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) cada año se generan 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos. Si la población continúa creciendo como se estima y se alcanzan los 9600 millones en 2050, y se sigue consumiendo al ritmo actual, se necesitaría el equivalente a tres planetas para disponer de los recursos naturales para sostener el desenfrenado estilo de vida actual. A día de hoy únicamente se han reciclado un 9% de los plásticos que se han generado desde su invención [3].

A pesar de que la gestión de residuos sea un elemento esencial en las ciudades de la sociedad occidental, es más complicada su aplicación en países menos desarrollados o concienciados. En los países del entorno se recupera hasta un tercio de los desechos generados mediante el reciclado, mientras que en los menos desarrollados solo un 4% de estos desechos son tratados.

Uno de los residuos más problemáticos en la actualidad son los plásticos. Si no se recogen y se gestionan correctamente, contaminan y afectan el curso del agua y los ecosistemas durante miles de años. Los plásticos han supuesto un gran beneficio para la sociedad, y reflejo de ello es el enorme uso que tienen, sin embargo su utilización extensiva ha traído la generación de microplásticos y con ello una gran contaminación asociada al medioambiente [4].

Esta mala gestión de los desechos está provocando diferentes problemas en la salud de hombres, animales y plantas, acelerando el cambio climático y, en algunos aspectos, agravando sus efectos. Desgraciadamente, la población más afectada por esta problemática son los países más pobres, donde la escasez de recursos y la mala gestión de sus desechos, están provocando situaciones realmente insostenibles. Por esta razón, los recursos utilizados no deberían acabar en los vertederos, deberían reutilizarse/reciclarse dándoles una nueva vida y contribuyendo a lo que hoy en día se conoce como economía circular.

2.2 Residuos y clasificación

2.2.1 Definición

Según el Boletín Oficial del Estado (BOE) (Ley 22/2011 de 28 de julio), “Un residuo es cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar”. Ahora bien, cuando un residuo se abandona, antes de ir a un vertedero, existe la posibilidad de que alguien reconsidere su valor utilizándolo para otro fin. Es por esto que se genera la duda de ¿cuándo comienza realmente un desecho a ser considerado un residuo y cuándo deja de serlo? [1].

El concepto de residuo no es un concepto cerrado, dependerá del momento y del individuo que lo considere. Esto provoca que la producción de residuos vaya evolucionando según el nivel económico de la sociedad. Por lo tanto, la consideración de residuo (Figura 2-1) lleva asociado intrínsecamente el destino de esa sustancia u objeto que, en un principio, debe ser desechado [5].

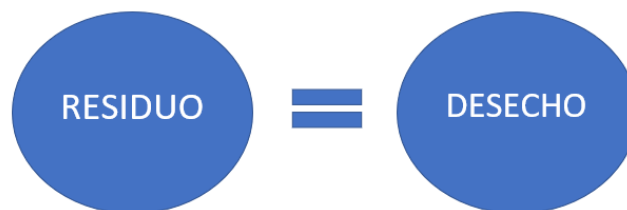


Figura 2-1 Consideración de residuos.

Como ya se ha citado anteriormente es importante tener en cuenta que un residuo puede dejar de serlo. El fin de la condición de residuo se recoge en el artículo 5 de la Ley 5 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Para ello, se deben cumplir tres requisitos que aparecen recogidos en la Figura 2-2:

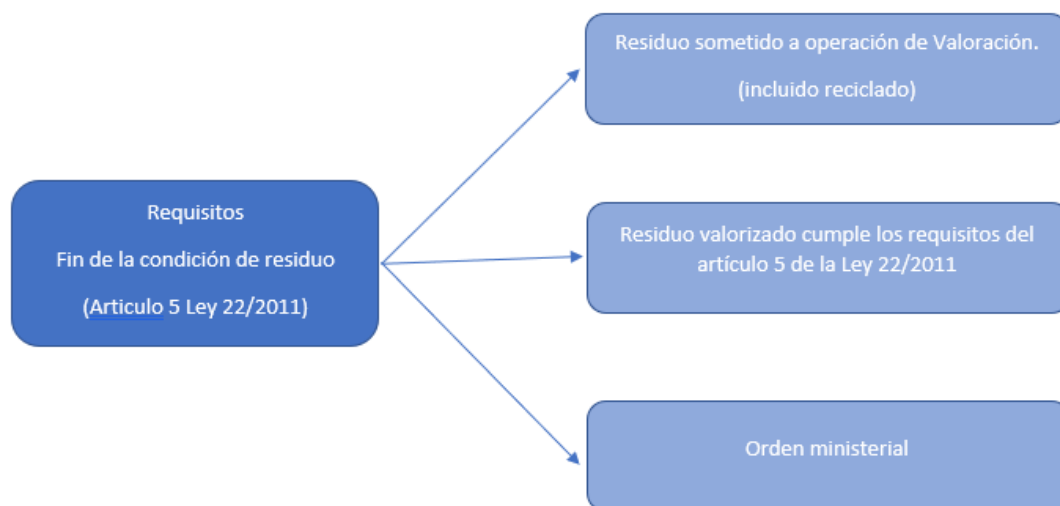


Figura 2-2 Requisitos para que un residuo deje de serlo.

Por orden del Ministro de Medioambiente, y Medio Rural y Marino se pueden establecer estos criterios específicos que los residuos deben cumplir para que puedan dejar de considerarse residuos [6].

2.2.2 Tipos de residuos

La gran actividad humana supone que se generen una gran diversidad de residuos lo que su clasificación puede resultar algo compleja. En este trabajo los residuos van a ser clasificados de dos formas diferentes: según su origen y según su peligrosidad.

2.2.2.1 Según su origen

2.2.2.1.1 Domésticos/Urbanos

Son aquellos residuos generados por la actividad de las personas en sus hogares, también se consideran como domésticos aquellos residuos que sean similares a los de los hogares, pero se hayan producido en las industrias (Figura 2-3). Dentro de estos residuos se incluyen todos aquellos aparatos electrónicos, ropa, muebles, alimentos, etc. que se desechan en los hogares o los escombros producidos por pequeñas obras de construcción. Tendrán también consideración de residuos domésticos aquellos que proceden de la limpieza de las vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados [5].



Figura 2-3 Residuos domésticos/urbanos [7].

Se considera residuos urbanos aquellos denominados vulgarmente como “basura” o aquellos materiales que se generan en un proceso de fabricación, utilización, consumo o limpieza, siempre y cuando el poseedor lo considere como abandonado.

La generación de este tipo de residuos está creciendo a un ritmo vertiginoso debido a la elevada concentración de población en las ciudades y al aumento del nivel de vida. Es por ello necesario una adecuada gestión que fomente la reutilización y el reciclaje.

Para la gestión y planificación de los residuos urbanos es importante realizar la caracterización de los mismos. Es fundamental conocer las cantidades de residuos generados para poder seleccionar así la maquinaria y equipos adecuados, diseñar el sistema de recogida o las instalaciones de recuperación de materiales, entre otros. En la Figura 2-4 se recoge la distribución de residuos sólidos generados en España, donde se puede apreciar como la mayor parte de los residuos proviene de la materia orgánica y de los envases.

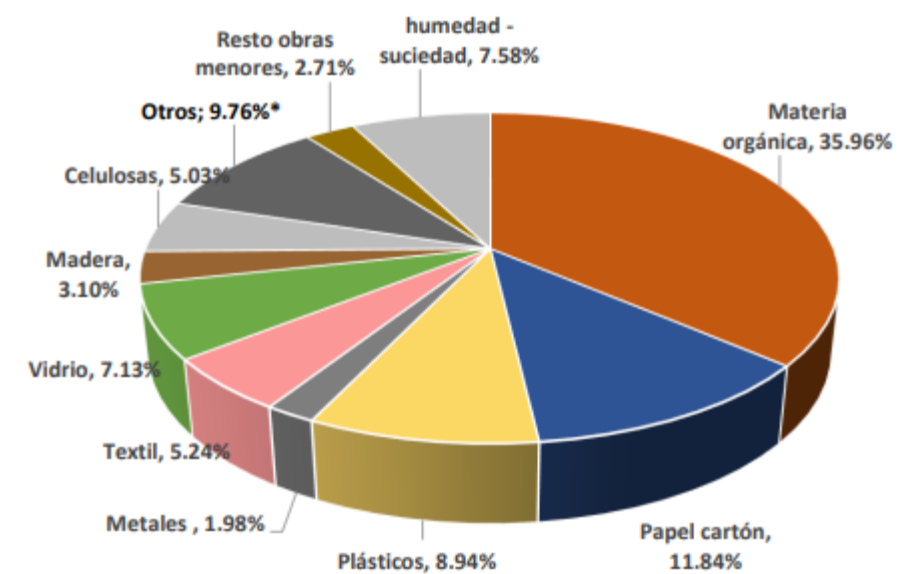


Figura 2-4 Residuos sólidos urbanos generados en España.

2.2.2.1.2 Comerciales

Residuos que se generan debido a la actividad del comercio, de los servicios de restauración, de los bares, de las oficinas y de los mercados, como todo el resto del sector servicios. Según diferentes estudios de ciertos estados de la UE se puede afirmar que los residuos comerciales ocupan entre un 15 y un 30% de los residuos de los municipios, dependiendo de la tipología y cantidad de actividades económicas que tenga dicho municipio. Los municipios rurales representarían alrededor del 15% mientras que en municipios puramente urbanos alcanzarían entre un 20 y un 30% [8].

2.2.2.1.3 Industriales

Los residuos industriales (Figura 2-5) son aquellos que se producen tras la elaboración de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, en el cual el poseedor decide deshacerse de ellos, excluidas las emisiones a la atmósfera que se encuentran reguladas por la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

Sin embargo, muchos de los residuos industriales pueden ser recuperables y se pueden utilizar como materia prima para diferentes actividades, pero este proceso depende directamente de la rentabilidad de dicho producto en sí. Si su reutilización es rentable, se utilizará como materia prima, si no, será un residuo más [1].

A su vez estos residuos podrían clasificarse en:

- Residuos inertes. Son aquellos que no suponen ningún riesgo para el medio y se pueden utilizar como material de relleno.
- Residuos asimilables a urbanos. Se trata de la “basura” de las instalaciones de las industrias.
- Residuos identificables. Son aquellos que requieren una gestión específica debido a que, de no hacerlo, pueden llegar a crear problemas medioambientales.
- Residuos especiales. Son aquellos que por las características que los componen suponen un riesgo para el medioambiente por lo que requieren un tratamiento específico bajo condiciones especiales.



Figura 2-5 Residuos industriales [9].

2.2.2.1.4 Sanitarios

Los residuos sanitarios (Figura 2-6) son aquellos desechos que son generados por la actividad sanitaria que tiene relación con la salud humana, los laboratorios o los veterinarios. Los residuos sanitarios se dividen en diferentes clases:

- a) **Clase I. Residuos sólidos urbanos.** Son los residuos que son generados en los centros sanitarios donde se realizan actividades específicamente sanitarias y, debido a que no presentan ningún riesgo para la salud, no se necesita que tengan una gestión específica. Estos residuos solo son los generados por pacientes no infecciosos, los infecciosos estarán incluidos en las clases II y III. Pertenecen a esta clase los siguientes residuos: papel, cartón, vidrio, madera...
- b) **Clase II. Residuos sanitario asimilables a urbanos.** Son aquellos que generados por actividades sanitarias cuyo riesgo específico afecta únicamente al interior de los centros. A esta clase pertenecen los siguientes residuos: material de curas, yesos, filtros de diálisis, sondas...
- c) **Clase III. Residuos sanitarios especiales.** Son aquellos que representan un riesgo para la salud pública o para el medioambiente, por lo cual deben tratarse con medidas de prevención, tanto en el centro sanitario como fuera de él.
- d) **Clase III. Grupo 5. Son aquellos residuos cortantes y punzantes que son utilizados en actividades sanitarias con independencia de su origen** [10].



Figura 2-6 Residuos sanitarios [11].

2.2.2.2 Según su peligrosidad

2.2.2.2.1 Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos (Figura 2-7) son aquellos que presentan una o varias características de peligrosidad: alta toxicidad o reactividad química, explosividad, corrosividad o cualquiera que cause daño a la salud humana o al medioambiente, ya se encuentren solos o en contacto con otros. En los residuos peligrosos se excluyen los residuos radioactivos, aunque sean realmente peligrosos, puesto que en la mayoría de países los encargados de dichos residuos son organizaciones especializadas. También se excluyen aquellos que son peligrosos, pero se generan en hogares (pilas, mercurio, pinturas residuales...) puesto que se generan en pequeñas cantidades.

Todas las actividades industriales producen grandes cantidades de residuos, siendo una parte de estos peligrosos. Las causas más comunes de estos residuos son:

- Materias primas. Ocasionados por la caducidad, deterioro durante el almacenamiento o por no utilizarse (sobrantes).
- Procesos de producción. Ocasionados por subproductos de reacción, residuos resultantes de operaciones unitarias tales como: destilación, filtración, evaporación, secado...
- Productos finales. Ocasionados por deterioro durante su almacenamiento, deterioro durante su transporte, caducidad o por no venderse.

Un aspecto fundamental referido a los residuos peligrosos es la identificación de estos residuos, puesto que la naturaleza y las características influyen en las acciones que hay que tomar al respecto [12].



Figura 2-7 Residuos peligrosos [13].

2.2.2.2.2 Residuos no peligrosos

Son todo el resto de residuos que no se consideran peligrosos por no tener características de peligrosidad. Estos residuos suelen presentarse en estado sólido o semisólido.

2.2.3 Legislación existente

En España existen más de veinte leyes que regulan los aspectos medioambientales, pero, la más general es la “Ley 21/2013 de 9 de diciembre, Evaluación Ambiental” donde se trata de implementar un sistema de medidas para prevenir y corregir la contaminación en general del país.

Debido a que en este trabajo se va a tratar la gestión medioambiental de la ENM, perteneciente a la Armada Española y en su defecto al ministerio de Defensa, se va a analizar la normativa existente en ambas instituciones.

2.2.3.1 Normativa del Ministerio de Defensa

La preocupación del ministerio de Defensa (MDE) hacia el medioambiente data de la década de los 80, con la firma de diversos acuerdos y actuaciones con el ya extinguido Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). Esto provocó que el MDE se viera obligado a elaborar una política ambiental sólida y eficaz, que se encuentra en la Directiva 107/1997 del Ministerio, que propició que en las Fuerzas Armadas (FFAA) haya un compromiso firme y serio con el cuidado del medioambiente.

La política medioambiental del MDE se basa en el desarrollo sostenible y debe ser compatible para todas las FFAA. En este contexto, en el año 2003 se desarrolló el primer Plan General de Medioambiente. También con la finalidad de cumplimentar el desarrollo del Plan, se genera la necesidad de crear Sistemas de Gestión Medioambiental (SGM) en todos los niveles del ministerio. Estos sistemas se basan en la ISO 14001, donde confirman que se actúa con un control de los efectos que provocan las actividades desarrolladas que pueden tener algún efecto en el medioambiente.

Este compromiso queda claramente patente con el hecho de que España es el país de la Unión Europea (UE) que tiene el mayor número de instalaciones militares certificadas con la norma ISO 14001, lo que se traduce en que un 92% de los acuartelamientos y establecimientos del ministerio de Defensa cuentan con un Sistema de Gestión Medioambiental certificado.

Con el desarrollo de esta política medioambiental, la implementación y certificación de sistemas de gestión ambiental, el ministerio de Defensa demuestra que es capaz de hacer compatible la operatividad de las FFAA con el cuidado y concienciación por el medioambiente, como se muestra en la Figura 2-8 [14].



Figura 2-8 Soldados ayudando en una catástrofe medioambiental [15].

2.2.3.2 Normativa de la Armada Española

Un Sistema de Gestión Medioambiental (SGA) lo define la norma internacional ISO 14001 y el Reglamento Europeo EMAS donde se incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para implantar, llevar a cabo, comprobar y mantener al día la política medioambiental.

Con la certificación ISO 14001 la Armada intenta reducir su impacto medioambiental (como se muestra en la Figura 2-9). Las ventajas más destacables que proporciona la ISO a la Armada son las siguientes:

- Cumplir con la legislación medioambiental. Aseguramiento del control y cumplimiento del gran número de requisitos legales relacionados con temas ambientales.
- Mejorar la gestión de los residuos, especialmente los peligrosos, reduciéndose la generación de desperdicios y costes de su eliminación.

- Prevenir la contaminación del suelo, del agua y del aire mejorando el control de las emisiones y vertidos perjudiciales, contribuyendo al esfuerzo de conservar el medioambiente.
- Reducir el gasto en energía eléctrica, combustible, agua y materias primas.
- Mejorar la eficacia del proceso, reduciendo sus costes.
- Evitar sanciones, por el cumplimiento con la legislación ambiental.
- Mejorar la gestión de los riesgos ambientales.
- Reducir incidencias que puedan concluir en pérdidas por responsabilidades legales.
- Proporcionar una sistemática de trabajo estandarizada orientada a obtener los resultados ambientales planificados, mejorando la comunicación interna.
- Ayudar a armonizar los procesos de trabajos en el conjunto de la Armada.
- Mejorar los mantenimientos por exigencias de la normativa sectorial ambiental.
- Analizar y profundizar en las emergencias en general y sobre todo desde el punto de vista ambiental.
- Aumentar la concienciación y sensibilización ambiental de todas las personas inherentes a la organización.
- Mejora continua que permite ser más eficiente en el consumo de materias primas y aumenta el rendimiento que lleva a una reducción de costes [16].



Figura 2-9 Armada española ayudando en catástrofe medioambiental de La Palma [17].

2.2.4 Gestión de residuos

La gestión de residuos se define como las operaciones destinadas a dar a los residuos producidos un trato determinado que sea más adecuado desde el punto de vista económico y ambiental, dependiendo de las características, volumen, procedencia, posibilidad de recuperación y comercialización, coste y normativa legal de los residuos.

Para tener una correcta y adecuada gestión de residuos se debe empezar con las fases de producción y comercialización de los bienes de consumo, debido a que gran parte de las decisiones que se toman en estas fases son importantes a la hora de determinar el volumen y la composición de los residuos, lo cual influye directamente en la gestión de los residuos.

La gestión de residuos se puede dividir en cuatro fases: pre-recogida, recogida, transporte y tratamiento. La *pre-recogida* se basa en el almacenamiento, manipulación, clasificación y presentación de los residuos en correcto estado para su posterior recogida y traslado. Es esencial la realización de esta fase para el correcto funcionamiento de las siguientes fases. Las fases de *recogida* y *transporte* por lo general son las que tienen un coste mayor y necesitan una planificación cuidadosa. Los residuos son transportados a las plantas de transferencia donde se compactan y se preparan para ser transportadas en camiones especializados y adecuados para trasladarse hasta el destino definitivo. El

tratamiento es la última fase donde se trata de eliminar o aprovechar los materiales que contienen los residuos.

Los residuos tienen una jerarquía donde se indica la prioridad de tratamiento a la que se tienen que enfrentar. Esta jerarquía está representada en la siguiente pirámide (Figura 2-10):

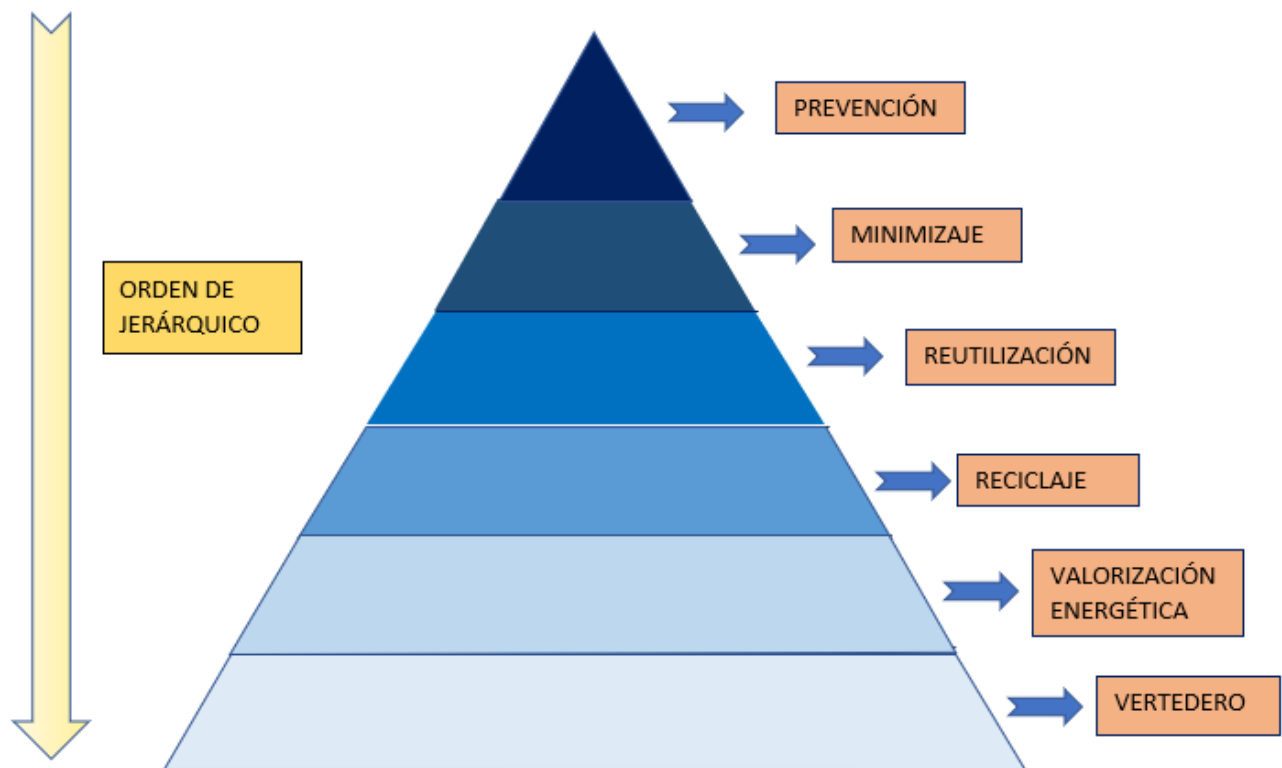


Figura 2-10 Pirámide jerárquica de la gestión de residuos.

La prevención es un conjunto de acciones que se realizan en la fase de diseño, producción, distribución y consumo del producto en cuestión. La finalidad de la prevención es reducir la cantidad de residuos, los impactos al medioambiente y el contenido de sustancias nocivas.

La reutilización consiste en realizar una preparación para volver a usar un residuo. Se debe realizar una comprobación, reparación y limpieza para que los productos que se han convertido en residuos se puedan reutilizar sin complicaciones.

El reciclaje consiste en valorizar los residuos de tal forma que puedan volver a ser productos, materiales o sustancias, ya sea con la finalidad original o con cualquier otra. La valorización consiste en buscar algún fin para que el residuo no sea eliminado, ya sea para remplazar una pieza de otro producto o para generar energía.

Finalmente, si no se ha conseguido ningún tratamiento se procede a la eliminación de los residuos con el traslado a los vertederos.

En la gestión de residuos hay diferentes tipos de procesos previos al tratamiento de residuos, a continuación, se verán distintos tipos:

2.2.4.1 Estaciones de transferencia

Son instalaciones en las cuales se almacenan y descargan los residuos con el fin de transportarlos a otras instalaciones donde posteriormente serán valorados o simplemente eliminados, como se muestra en la Figura 2-11. Las estaciones de transferencia son unas de las partes más importantes en lo referente al tratamiento de residuos. Se pueden diferenciar tres tipos de estaciones de transferencia según el tipo de residuo:

- a) **Estaciones de transferencia de residuos domésticos.** Estas estaciones tienen la finalidad de permitir que los camiones de recogida de las poblaciones no tengan que trasladarse hasta los centros donde se tratan los residuos. Con esto se consigue optimizar el transporte de los residuos de tal manera que desde la estación hasta el centro de tratamiento lo transportan ciertos vehículos especializados y adaptados para estos transportes, teniendo mayor capacidad y un tiempo de traslado menor.
- b) **Estación de transferencia de residuos peligrosos en pequeñas cantidades.** Estas estaciones se encargan de agrupar los residuos peligrosos en cantidades no mayores a una tonelada por producto. Estos residuos son clasificados e identificados y agrupados con otros residuos compatibles hasta ser enviados a las plantas de tratamiento final o valorización.
- c) **Estaciones de transferencia de residuos peligrosos incinerables.** En estas estaciones llegan los residuos que son destinados a ser incinerados. Primero se comprueba que corresponden a residuos cuyo tratamiento apropiado es la incineración y posteriormente se clasifican en función de su composición química, poder calorífico, estado físico, etc. para finalmente enviarlos a las plantas incineradoras de residuos peligrosos [18].

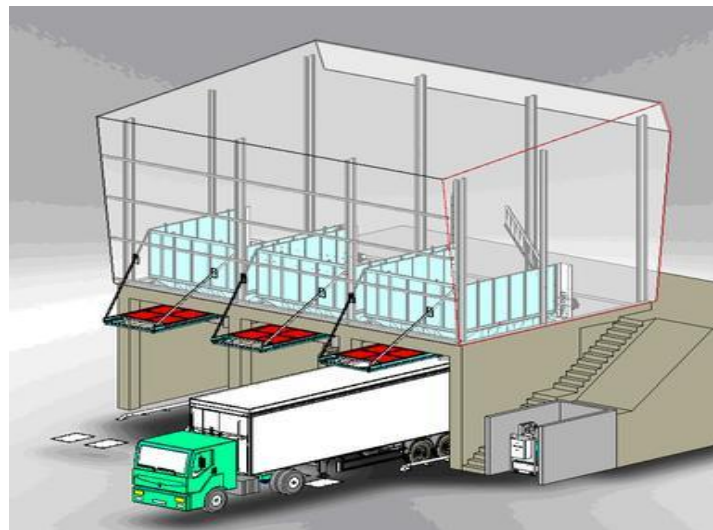


Figura 2-11 Estación de transferencia [19].

2.2.4.2 Tratamiento y reciclaje de frigoríficos

Todo frigorífico contiene diferentes sustancias nocivas que afectan al medioambiente y es necesario retirar (aceites, CFC (clorofluorocarbonos) y HCFC (hidrofluorocarbonos)). Estas plantas tienen como objetivo recuperar las sustancias contaminantes ya nombradas y valorizar aquellas piezas que contienen aluminio, cobre, cables eléctricos, vidrio, plástico o hierro.

2.2.4.3 Tratamiento y reciclaje de residuos de pilas

Toda pila ya sea del tipo bastón o botón contiene diferentes metales como mercurio, cadmio o plomo. Estos metales son peligrosos para la salud de las personas y para el medioambiente. Estas instalaciones hacen posible la obtención y recuperación de dichos materiales, principalmente metales.

2.2.4.4 Valorización de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos

Se considera “residuo de aparatos eléctricos y electrónicos” a todos aquellos aparatos eléctricos y electrónicos, a sus componentes y subconjuntos que los componen ya sean procedentes de hogares, comercios, industrias o instituciones, a partir del momento en el que dejan de ser útiles y pasan a ser residuos. Las plantas que se encargan de este tipo de residuos tienen como objetivo principal la descontaminación, desmontaje, trituración y valorización o preparación de los distintos componentes para ser eliminados.

2.2.4.5 Tratamiento y reciclaje de vehículos fuera de uso (VFU)

Cuando un vehículo pasa a estar fuera de uso (Figura 2-12) se convierte en un residuo que es perjudicial para el medioambiente debido a los diferentes materiales que los componen. La principal finalidad de los lugares de tratamiento de dichos residuos es hacer una correcta gestión y división de los diferentes materiales que lo componen, consiguiendo así separar los residuos peligrosos que contienen los cuales serán enviados a gestores autorizados para su correcto tratamiento. El resto del VFU se desguaza, separando previamente los materiales susceptibles de reciclado.

De estos tratamientos se obtienen diferentes residuos peligrosos tales como aceites usados, filtros, baterías, fluidos refrigerantes, carburantes y líquido de frenos [18].



Figura 2-12 Vehículo en el desguace [20].

2.2.4.6 Depósitos controlados (vertederos)

Estas instalaciones son destinadas a aquellos residuos no valorizables siendo depositados de forma organizada y controlada, ya sea en superficie o bajo tierra. Dichos terrenos deben tener las pertinentes condiciones de permeabilidad y estar complementados y reforzados por medios artificiales los cuales tengan impermeabilidad y drenaje con el fin de garantizar el confinamiento de los residuos y de sus lixiviados, para así evitar la contaminación de las aguas subterráneas como se muestra en la Figura 2-13.

Dentro de los depósitos se pueden diferenciar dos tipos: los depósitos destinados al control de residuos domésticos y asimilables y los destinados a control de residuos peligrosos [18].

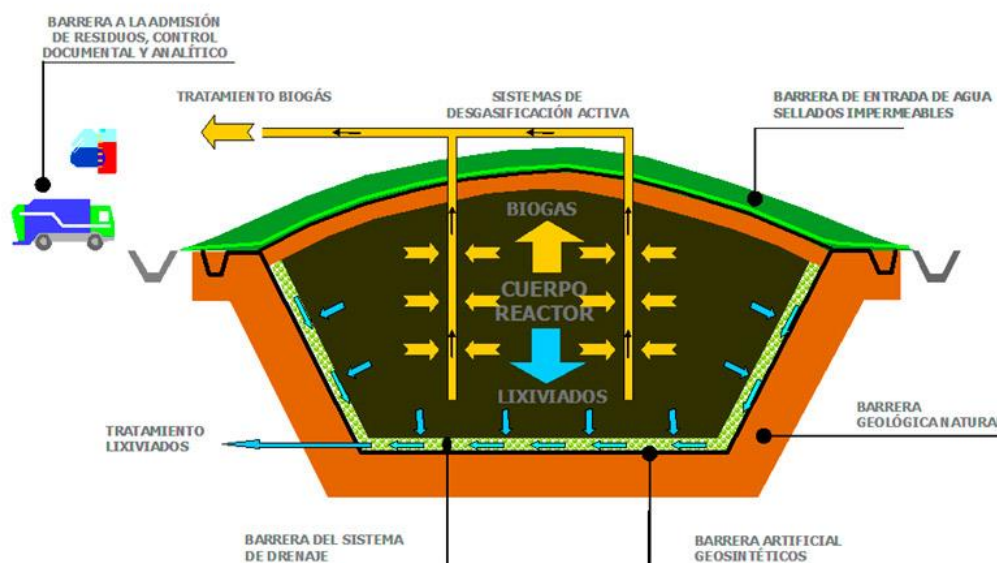


Figura 2-13 Depósito controlado subterráneo [21].

2.3 Tipos de tratamiento para los diferentes tipos de residuos

Las diferentes instalaciones que existen de tratamiento de residuos son tan variadas como todos los tipos de residuos que se pueden diferenciar. A continuación, se van a explicar los diferentes tratamientos y las operaciones que se realizan para llevarlos a cabo.

2.3.1 Plantas incineradoras

La incineración es una técnica de tratamiento de residuos que permite reducir su volumen (90%) y peso (65%) y modificar su composición debido al proceso de oxidación a elevada temperatura al que son sometidos. La fracción orgánica del material reacciona con oxígeno y se transforma en dióxido de carbono y agua, que pasan a formar parte de la corriente gaseosa, quedando un residuo de composición muy diferente a la que tenía el residuo original.

Por tanto, la incineración es una técnica que trata unos residuos con el fin de transformarlos en otros con menor masa y menor volumen y, además, menos peligrosos para la salud y para el medioambiente. Si se aprovecha su poder calorífico, se puede obtener energía. No obstante, también puede producir residuos sólidos y otros contaminantes que son emitidos en la corriente gaseosa o en vertidos líquidos. Según las características del residuo se pueden distinguir dos tipos de incineración: incineración de residuos domésticos e incineración de residuos peligrosos.

Bajo la denominación de “instalación de incineración” se incluyen los diferentes equipos que se destinan al tratamiento térmico de los residuos, independientemente de que se recupere o no el calor producido por la combustión como se muestra en la Figura 2-14 [22].

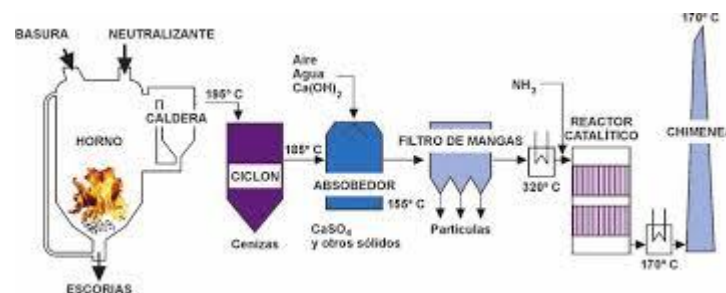


Figura 2-14 Incineradora [22].

2.3.2 Plantas de compostaje

En estas plantas (Figura 2-15) se realiza un proceso biológico aeróbico (con presencia de oxígeno) bajo condiciones de ventilación, humedad y temperaturas controladas, con la finalidad de conseguir transformar los residuos orgánicos degradables en un producto denominado compost, que puede ser utilizado como abono orgánico.

El compost debido a sus características tiene diferentes beneficios entre los que se pueden destacar los siguientes [23]:

- Efectos en la estructura del suelo. El compost, debido a su estructura hace que sea más fácil la formación de conglomerados del suelo permitiendo así mantener una correcta aireación y humedad del mismo.
- Efectos sobre la salud del suelo. Se trata de un producto natural, sin compuestos químicos y libre de patógenos.
- Efecto sobre los nutrientes de plantas. Puesto que es un producto rico en nutrientes y macronutrientes, se convierte en un excelente abono para las plantas.
- Beneficios económicos. No hay que adquirir este producto puesto que se obtiene con un proceso sencillo que se puede llegar a realizar en el hogar.



Figura 2-15 Planta de compostaje [24].

2.3.3 Tratamiento mecánico-biológico

Son instalaciones que reciben residuos domésticos que no han tenido una separación previa, de tal modo que se tienen que separar de forma selectiva, es decir, por un lado, se separan los residuos orgánicos y por otro, todos los subproductos valorizables (cartón, papel, vidrio, envases de plástico, metales férricos y no férricos, plásticos tipo film y briks).

Posteriormente a la separación de los residuos, normalmente los residuos orgánicos son sometidos a un tratamiento biológico. Este proceso biológico consiste en realizar una digestión anaerobia (ausencia de oxígeno), también llamada biometanización, donde la materia orgánica es transformada, mediante la acción de microorganismos, en una mezcla de gases cuyos componentes mayoritarios son metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) [18].

2.3.4 Tratamiento físico-químico

El proceso de los tratamientos físico-químicos (Figura 2-16) consiste en aprovechar las propiedades físicas y químicas de los residuos peligrosos para reducir o eliminar la peligrosidad de dichos residuos y hacer más fácil la eliminación posterior en los vertederos. Estos tratamientos tienen dos etapas destacables:

1. La separación de fases para poder reducir su volumen mediante sedimentación, floculación o incluso destilación.
2. La separación de los componentes por medio de procesos de neutralización del pH del residuo, la precipitación química de los metales pesados disueltos mediante la aplicación de las propiedades “redox” de las sustancias para obtener formas químicas menos tóxicas e insolubles, así como la eliminación de los sólidos mediante filtración obteniendo un efluente neutralizado libre de metales pesados y sólidos.

El objetivo de estos procesos es conseguir un efluente que tenga características válidas para su vertido y concentrar los contaminantes en una fase sólida (lodos) que pueda ser gestionada correctamente. Posteriormente se debe realizar un proceso biológico donde la acción de bacterias permita la degradación de la materia reduciendo la contaminación de estos residuos.

En este tipo de plantas también se llevan a cabo diferentes tratamientos de estabilización de los residuos, donde los sólidos peligrosos son modificados hasta que estos pierden sus características de peligrosidad, pasando a ser residuos no peligrosos [18].



Figura 2-16 Tratamiento físico-químico [25].

2.3.5 Recuperación de residuos de disolventes orgánicos

Los residuos de disolventes se consideran como residuos peligrosos. Estos residuos son sometidos a tratamientos que se basan en la “recuperación por destilación” para conseguir su regeneración, principalmente los disolventes que provienen de los productos de limpieza. También se someten a “recuperación por rectificación” o “destilación fraccionada” aquellos disolventes residuales generados en procesos químicos.

Con estos procesos se obtienen dos fracciones: la principal es el disolvente regenerado, este se encuentra totalmente preparado para ser reutilizado puesto que cumple con los requisitos que se exigen a estos productos y, por otro lado, una fracción residual que está formada por los residuos y elementos extraños contenidos en el disolvente usado y una parte mínima de éste.

2.3.6 Regeneración de aceites industriales usados

Todo aceite industrial que se convierta en inadecuado para realizar el uso que tenía asignado se considera “aceite usado” (Figura 2-17). En esta definición se incluyen aceites minerales que se emplean en motores de combustión y en los sistemas de transmisión, los aceites usados de los lubricantes, los de turbinas y sistemas hidráulicos y todas las mezclas y emulsiones que los contengan.

Todos estos aceites nombrados se consideran residuos peligrosos debido al impacto negativo que generan al medioambiente, indiferentemente de si se depositan en el suelo o se vierten en agua, afectando a ríos y acuíferos, o si se queman bajo condiciones inadecuadas, emitiendo gases contaminantes a la atmósfera.



Figura 2-17 Regeneración de aceite [26].

2.3.7 Tratamiento de residuos de vidrio

Este tipo de residuos de envases de vidrio son finalmente reciclados en un 100%, aprovechando todo el vidrio sin perder cualidades. El primer paso una vez llegan estos residuos a las plantas de

tratamiento es realizar una limpieza de todo aquello que haya podido ser introducido en el contenedor de recogida y que no sea vidrio. Seguidamente el vidrio se tritura en polvo grueso denominado calcín. El calcín permite que se fabriquen envases de vidrio con las mismas propiedades que al inicio. Una de las ventajas de usar el vidrio reciclado es que al tener que tratarlo a una temperatura menor se consume menos energía, por lo que supone un ahorro de materias primas y de energía muy considerable.

2.4 Descripción de la ENM

2.4.1 Marco histórico

Durante el reinado de Felipe V existía la necesidad de formar una Armada capaz de garantizar el tráfico marítimo con las posesiones ultramarinas. Debido a esta necesidad Patiño se vio obligado a crear una Academia de Guardia Marinas (Figura 2-18) en 1717 en Cádiz, para formar a los futuros oficiales.



Figura 2-18 Academia de Guardias Marinas [27].

Para poder acceder a la Academia era necesario pertenecer a la nobleza, con la excepción de aceptar a marinos que estuviesen experimentados, aunque no fuesen de sangre noble. Esto se exigió hasta 1824 y la exigencia de la nobleza diez años más tarde. Era necesario superar un examen de las cuatro reglas y no exceder la edad de 18 años, aunque este requisito se obviaba en más de una ocasión. En la academia existía un plan de estudios que lo conformaba una parte teórica y otra práctica realizada en buques. En 1776 se crearon nuevas academias en Ferrol y Cartagena, pero posteriormente fueron cerradas en 1824 debido a su alto coste, permaneciendo únicamente la de Cádiz.

Por decreto de 19 de septiembre de 1869, con el ministro de marina D. Juan Bautista Topete y Carballo, se decide que la fragata Asturias se convierta en la Escuela Naval Flotante. A comienzos del 1874 el Ayuntamiento de Cádiz y San Fernando proponen trasladar la Asturias a la bahía gaditana, pero finalmente se denegó la propuesta. Esta Escuela Naval Flotante perduró hasta el 1907 cuando se eliminó hasta nueva orden el ingreso a la Escuela Naval.

En 1908, en la Ley de Escuadra, se determinó la vuelta de la Escuela Naval Militar a San Fernando. Posterior a la fecha de la ley hubo intentos de trasladar la Escuela Naval a otras ciudades: Cádiz, Ferrol, Cartagena, Mahón, San Sebastián y otras poblaciones marinas. Una Real Orden de 1 de febrero de 1912 aprueba el establecimiento de la Escuela Naval en San Fernando, en el antiguo edificio del Colegio Naval de la población militar de San Carlos.

A mediados de 1938 se propuso trasladar la Escuela Naval a Marín (Figura 2-19), lo que generó disgusto en San Fernando y Cádiz. Hasta 1943 permaneció la Escuela en San Fernando, siendo la ENM inaugurada en Marín el 15 de agosto de dicho año.



Figura 2-19 Entrada Escuela Naval Militar [28].

Una Orden Ministerial de abril de 1973 establece que los guardiamarinas tienen consideración de oficial alumno [27].

La Escuela Naval Militar es el único centro de formación de Oficiales de la Armada. Durante estos 71 años en Marín, todo aquel que ha sido o es Oficial de la Armada, ha pasado por esta Escuela para formarse. Actualmente la Escuela Naval Militar está compuesta por unas 1000 personas, diferenciando entre alumnos, personal militar profesional y personal civil. Del total, unos 500 son alumnos que pertenecen a los distintos cuerpos de la Armada y Cuerpos Comunes de las Fuerzas Armadas.

Como especial mención al adiestramiento y formación de los futuros oficiales destaca el llevado a cabo cada año a bordo de las lanchas de instrucción y veleros escuela, así como el realizado en el tercer curso en el crucero de alumnos a bordo del “Juan Sebastián de Elcano” (Figura 2-20).



Figura 2-20 Buque escuela Juan Sebastián de Elcano [29].

2.4.2 Marco geográfico

La Escuela Naval Militar se encuentra en la villa de Marín (Figura 2-21), municipio español perteneciente a la provincia de Pontevedra, ubicada en la Comunidad Autónoma de Galicia. Marín se encuentra a orillas de la ría de Pontevedra, en la comarca de Morrazo. La ría de Pontevedra es una de las tres Rías Bajas gallegas. Dentro de la ría hay ciertas islas, la isla de Tambo, la cual se encuentra enfrente de la ENM, la de Ons, la cual es la mayor y se encuentra en la boca junto a Onza.

La ría de Pontevedra, también llamada “la ría del mar y el viento”, tiene una superficie de 148 kilómetros cuadrados, siendo la tercera más grande de Galicia y la más regular de todas. La ría tiene diferentes puertos donde poder arribar: Portonovo, el cual cuenta con el Club Náutico de Portonovo;

Sanxenxo, donde se encuentra el Real Club Náutico de Sanxenxo; Combarro, Puerto Deportivo de Combarro; Marín, contando con la Escuela Naval Militar y Puerto Deportivo de Marín; y Bueu con Puerto Deportivo de Bueu.



Figura 2-21 Foto aérea Escuela Naval Militar [30].

2.4.3 Marco institucional

La Escuela Naval Militar esta comandada por su Director (Figura 2-22), un capitán de navío en activo, el cual depende orgánicamente y directamente de la Dirección de Enseñanza Naval, cuyo jefe es el Almirante Director de Enseñanza Naval el cual es responsable de elaborar y proponer los planes y programas de estudios de las enseñanzas militares de formación y perfeccionamiento, este depende directamente del Almirante Jefe de Personal, quien es el responsable de la dirección, gestión, administración y control del recurso humano ante el Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada .



Figura 2-22 Relevé de director de la ENM [30].

La Armada lleva más de 300 años formando futuros oficiales. En estos años ha ido cambiando la localización, el formato o las características de enseñanza, pero no ha perdido su esencia, la formación integral del oficial de marina. La Escuela Naval Militar es heredera de esa tradición.

La formación de los oficiales tiene diferentes facetas en cuanto a los estudios y adiestramiento, pero su principal eje es la formación en valores. Esto va resumido en los cuatro pilares que se inculcan a los alumnos: Honor, Valor, Disciplina y Lealtad. La finalidad es formar a personas que liderarán a hombres y mujeres que han dado sus vidas en defensa de España en y desde la mar.

La carrera militar de los oficiales se desarrolla en la ENM durante cinco cursos académicos para aquellos que acceden sin ningún título universitario previo. Los alumnos de 1º y 2º de la ENM se les denomina aspirantes, durante 3º y 4º se les llama guardiamarinas y en 5º son alféreces de fragata o alféreces alumno (en el caso de Infantería de Marina) [31].

2.4.4 Marco ambiental

El Ministerio de Defensa (MDE) es consciente de que debe tener en cuenta la protección del medioambiente y tenerlo en cuenta en las diferentes actividades que realiza. Por medio de la Directiva 107/97, de 2 de junio, las FFAA tienen como obligación tener en cuenta la importancia de los temas ambientales. En esta directiva se observa la idea de compatibilizar las misiones de las FFAA con una Política Medioambiental, teniendo como herramienta los Sistemas de Gestión Medioambiental que se basan en la norma UNE-EN-ISO 14001.

La Escuela Naval Militar consciente de ello trata de establecer el sistema y método para controlar y gestionar los residuos que se producen en la ENM como fruto de sus actividades y procesos. La escuela trata de realizar los procedimientos con los residuos tipificados como: residuos industriales no peligrosos, residuos urbanos o municipales, y asimilables a estos como los voluminosos, residuos peligrosos y residuos sanitarios.

La ENM utiliza como referencias la UNE EN-ISO 14001:2004 y la UNE EN-ISO 14001:2015. Tiene en cuenta el Manual de Gestión Ambiental Cap. 2.1 (Términos y definiciones) y el Cap. 4.4.6 (Control operacional).

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Situación actual en la ENM

En este trabajo se va a realizar un estudio de la gestión de residuos llevada a cabo en la actualidad por la ENM de Marín donde se va a comprobar la eficiencia de dicha gestión. Para ello, en primer lugar, se van a analizar las zonas generadoras de residuos y las áreas de almacenamiento disponibles en la Escuela. Seguidamente se realizará una identificación de las diferentes tipologías de residuos existentes y una estimación o cuantificación, dependiendo de la naturaleza del residuo, de cada uno de los desechos generados. Finalmente, se evalúa el modo de gestión seguido en ENM.

En la Figura 3-1 se presentan, de manera resumida, los pasos seguidos:

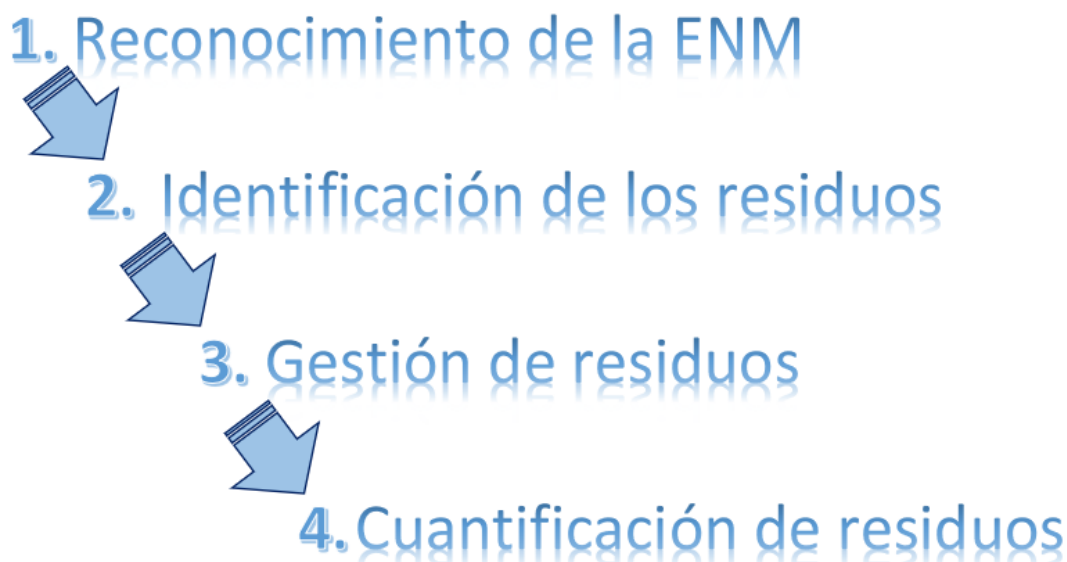


Figura 3-1 Pasos del análisis del trabajo.

Cabe resaltar que, aunque el orden lógico sería que la fase de cuantificación de residuos fuese realizada seguidamente de la identificación de los mismos, en el caso particular de la ENM la cuantificación de los residuos es realizada en el momento en el que los desechos son recogidos por la empresa gestora autorizada para ello.

Por otro lado, el compromiso de la ENM con el medioambiente queda patente con el hecho de que dicho Centro tiene establecido y mantiene al día un Sistema de Gestión Ambiental desde el año 2004 para poder cumplir los requisitos de la norma UNE-EN-ISO 14001:2015, siendo el máximo responsable de la gestión medioambiental el Comandante Director de la ENM, tal y como se puede

observar en el organigrama mostrado en la Figura 3-2. Asimismo, se pueden ver las dependencias del Comandante Director de la ENM donde una de ellas es la Comisión de Medioambiente, donde hay un oficial encargado de esta. El oficial de Medioambiente (OMA) es el principal encargado de la gestión de residuos de la Escuela, su principal objetivo es coordinar con todos los diferentes destinos de la ENM la gestión de residuos con una correcta clasificación, identificación y separación de los mismos, para ser posteriormente recogidos por una empresa externa.

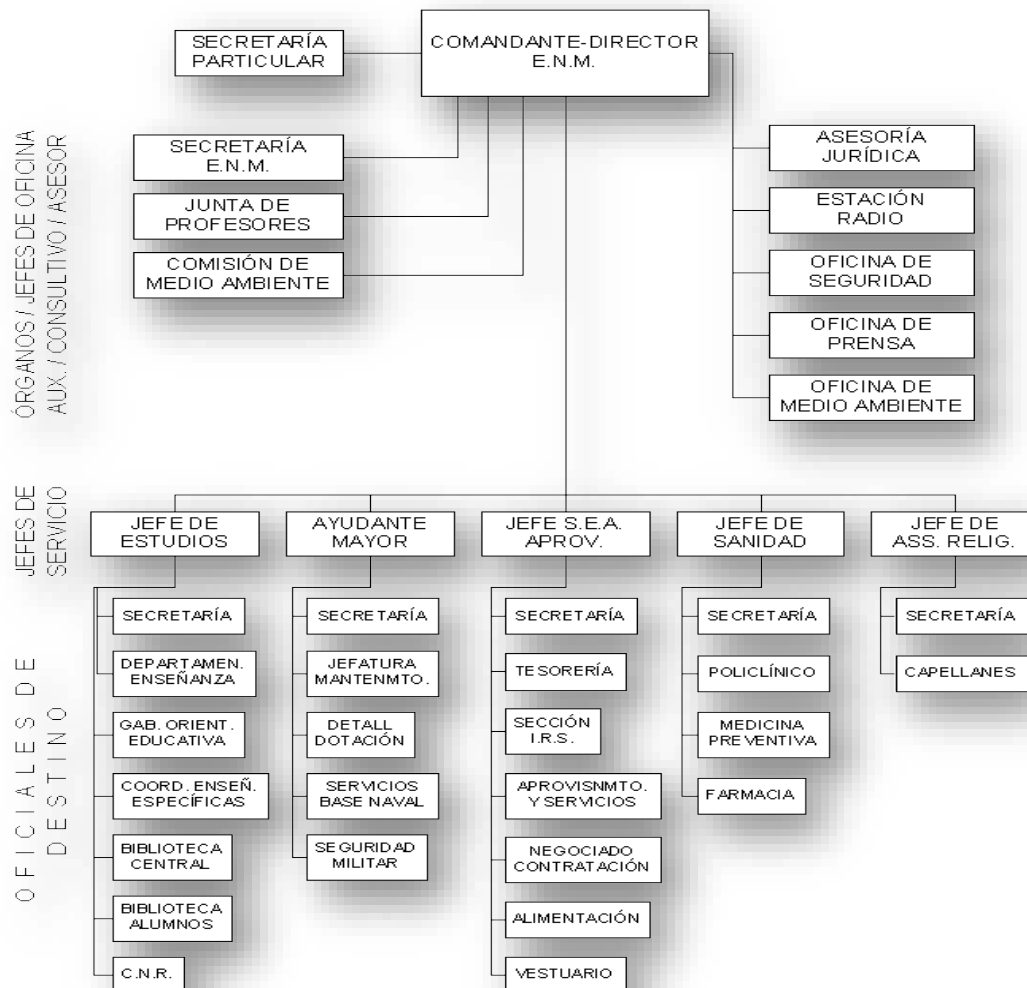


Figura 3-2 Organigrama ambiental de la ENM.

3.1.1 Reconocimiento de la ENM

El primer paso de este trabajo ha consistido en el reconocimiento de todas las zonas de la ENM con el fin de realizar una división de las instalaciones acorde a los diferentes tipos de residuos que se generan, teniendo en cuenta a su vez las localizaciones de los contenedores destinados a su depósito.

Hay que destacar la gran extensión de la ENM y, consecuente, la gran diversidad de instalaciones generadoras de residuos (aulas, oficinas, zonas de alojamiento, cocinas, un hospital, un puerto náutico y diferentes talleres de vehículos, pinturas, etc) lo que conlleva la generación de desechos de diferente naturaleza.

Con el fin de facilitar la comprensión del lector, en este trabajo se ha dividido la ENM en las diferentes zonas que aparecen recogidas en la Figura 3-3, realizando un estudio detallado para cada una de ellas. Además, en el mapa de la ENM se han señalado los puntos de recogida de los residuos según su tipología.



Figura 3-3 Mapa de la ENM. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.1 Puntos generadores de residuos

A continuación, se procede a identificar las diferentes dependencias con las que cuenta cada una de las zonas señaladas en el mapa de la ENM:

- **Barrio industrial (B.I.).** Esta zona es la más amplia en todos los sentidos, tanto en extensión como en generación de residuos. El barrio industrial (véase Figura 3-4) cuenta con las siguientes dependencias: lavandería, zapatería, carpintería, tapicería, taller mecánico, taller eléctrico, pañol de Infantería de Marina (lugar donde los Infantes de Marina guardan todos sus equipos), taller de mantenimiento, garaje de vehículos, gasolinera, residencia de oficiales y de suboficiales.



Figura 3-4 Barrio Industrial.

- **Hospital.** El hospital (Figura 3-5) se encuentra dentro del edificio de la residencia de suboficiales y cuenta con varias consultas médicas para asegurar la salud del personal de la ENM.



Figura 3-5 Hospital ENM.

- **Cocinas.** La ENM cuenta con un total de cinco cocinas, distribuidas de la siguiente manera: comedor de alumnos, comedor del personal de la ENM, casino de alumnos (lugar de descanso de los alumnos), residencia de oficiales y residencia de suboficiales.



Figura 3-6 Cocina de la ENM.

- **Cuarteles.** En la ENM hay dos cuarteles de alumnos: Almirante Francisco Moreno (Figura 3-7a) y Marqués de la Victoria (Figura 3-7b) y uno de marineros y suboficiales, el cuartel Méndez Núñez (Figura 3-7c). Los cuarteles son los lugares donde conviven los alumnos, ahí tienen sus dormitorios y su lugar de estudio.



(a)



(b)



(c)

Figura 3-7 Cuarteles de la ENM a) Cuartel Marqués de la Victoria, b) Cuartel Almirante Francisco Moreno y c) Cuartel Méndez Núñez.

- **Zona de Aprovisionamiento (Zona Aprov.)** (Figura 3-8). En esta zona está incluida la galería de tiro con pistola, la factoría, las oficinas de aprovisionamiento, el Centro de Medición Electromagnéticas (CEMEDEN), el Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior (CASI) y el helipuerto. En la galería de tiro se efectúa el adiestramiento de los alumnos con armas de fuego mientras que la factoría son los almacenes de reservas de alimentos y demás material de la ENM. En cuanto al CEMEDEN es el encargado de realizar mediciones electromagnéticas de las diferentes unidades de la Armada Española y el CASI, por su parte, es el centro donde se adiestran los alumnos ante las posibles incidencias de incendios o inundaciones que se puedan producir en un buque.



Figura 3-8 Zona Aprovisionamiento.

- **Muelle Almirante Vierna (Muelle Alnte. V).** En este muelle (Figura 3-9) se encuentran el edificio de aulas Issac Peral (con sus correspondientes laboratorios), el pañol de buceo, el núcleo de lanchas (lugar donde se almacena el material y recambios de las lanchas de instrucción), el pañol histórico (museo histórico donde viene representada la historia de la ENM), las diferentes embarcaciones de la Guardia Civil, de Aduanas y las propias de la ENM (se encuentran el Patrullero Tabarca, el velero de instrucción Peregrina y las lanchas de Instrucción (embarcaciones donde se adiestran los alumnos en la mar).



Figura 3-9 Muelle Almirante Vierna.

- **Edificio del casino (E. Casino).** En este edificio (Figura 3-10) se encuentra el puesto de guardia, las oficinas de ayudantía mayor (encargados de las instalaciones de la ENM) y el propio casino.



Figura 3-10 Edificio Casino de Alumnos.

- **Patio de Aulas (P. Aulas).** Aquí se encuentran gran parte de las aulas donde los alumnos reciben las clases, también los despachos de todos los profesores de la ENM, tanto los profesores civiles como los militares (Figura 3-11).



Figura 3-11 Patio de Aulas.

- **Jefatura de Instrucción (J. Inst).** En este edificio (Figura 3-12) se sitúan los diferentes despachos de oficiales, las oficinas de seguridad de la ENM y la Comisión Naval de Regatas, así como un puerto náutico con diferentes embarcaciones.



Figura 3-12 Jefatura de Instrucción.

- **Zona de Dirección (E. Dir).** En esta zona se encuentra el despacho del Director de la ENM (Figura 3-13a), la capilla y las instalaciones deportivas (Figura 3-13b).



(a)



(b)

Figura 3-13 Zona de Dirección a) Instalaciones deportivas y b) Edificio de Dirección.

3.1.1.2 Punto de recogida de residuos

A lo largo de la ENM hay diferentes zonas donde se encuentran ubicados contenedores para el almacenamiento de los residuos de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3-14. Hay cuatro tipos de contenedores según el tipo de residuos (orgánicos, plásticos, papel y cartón y vidrio), así como un punto limpio donde se almacenan los residuos peligrosos.

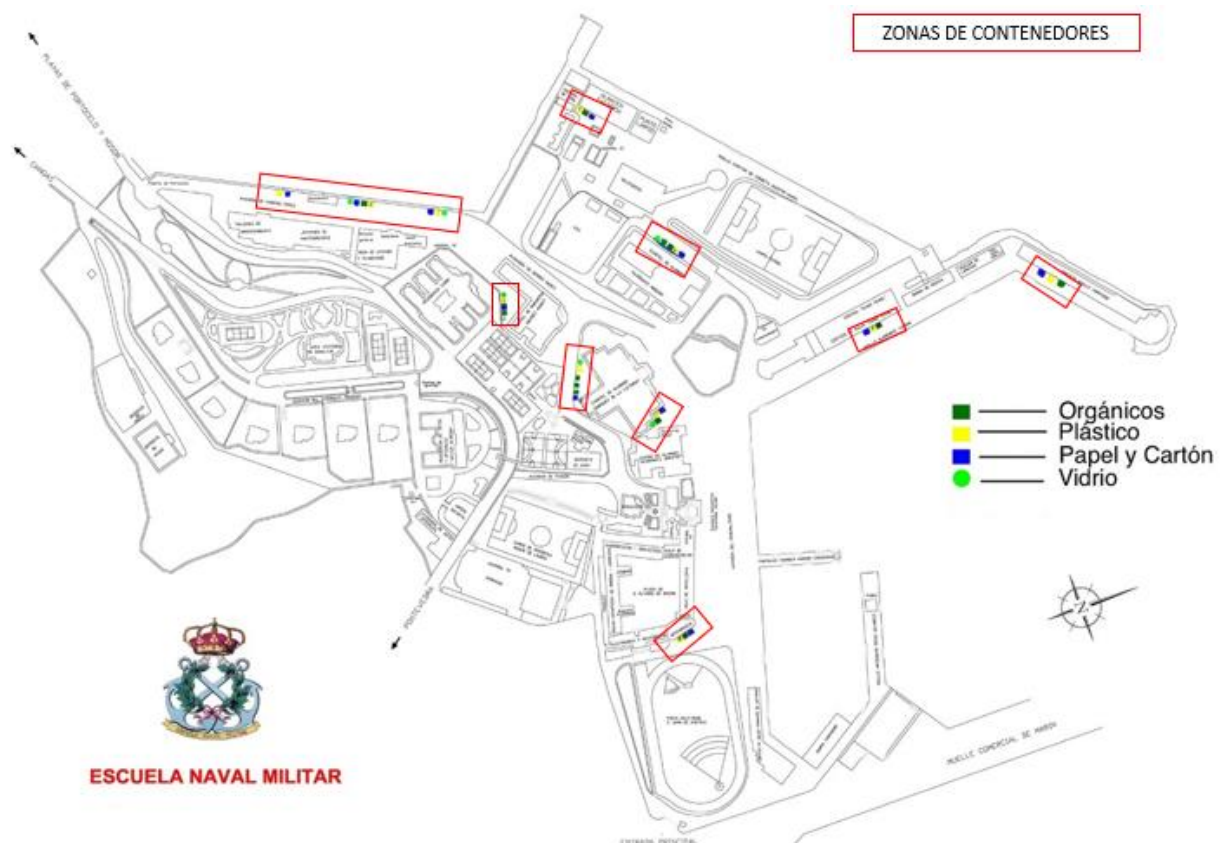


Figura 3-14 Ubicación de los contenedores en la ENM.

Tal y como se comentó anteriormente, la zona de la ENM donde más tipos de residuos se generan es el Barrio Industrial debido a la gran actividad que se realiza en el día a día con diferente maquinaria y empleando todo tipo de materiales. Esta zona cuenta con un contenedor de residuos orgánicos, tres contenedores de plásticos, tres contenedores de papel y cartón y dos contenedores de vidrio. En la Figura 3-15 se muestran los contenedores existentes en dicha zona.



(a)



(b)



(c)

Figura 3-15 Contenedores barrio industrial.

Los cuarteles cuentan cada uno con diferentes contenedores en sus alrededores mostrados en la Figura 3-16. El cuartel Marqués de la Victoria, en el que se sitúa la cocina del comedor de alumnos, tiene a un lado del cuartel (junto a la cocina de alumnos) tres contenedores de residuos orgánicos, un contenedor de papel y cartón, un contenedor de plástico y uno de vidrio.



Figura 3-16 Contenedores Cocina de Alumnos.

Al otro lado del cuartel Marqués de la Victoria se encuentran más contenedores (Figura 3-17), en los cuales se depositan los residuos generados por el propio cuartel y aquellos generados por el edificio del Casino de Alumnos. Esta zona cuenta con un contenedor de residuos orgánicos, un contenedor de papel y cartón, un contenedor de plásticos y uno de vidrio.



Figura 3-17 Contenedores del Marques de la Victoria y Casino de Alumnos.

En el cuartel Almirante Francisco Moreno, en la cara norte, hay contenedores (Figura 3-18) para dar cabida a los residuos urbanos generados por los alumnos allí alojados, siendo dos de ellos de residuos orgánicos.



Figura 3-18 Contenedores del cuartel Almirante Francisco Moreno.

En la zona de aprovisionamiento hay un depósito con tres contenedores (Figura 3-19), uno de residuos orgánicos, otro de plásticos y otro de papel y cartón. Los residuos depositados en estos contenedores son generados en las oficinas de aprovisionamiento, en la galería de tiro, en el CASI, en el CEMEDEM y en la factoría.



Figura 3-19 Contenedores Zona de Aprovisionamiento.

En el Muelle Almirante Vierna hay dos zonas con contenedores (Figura 3-20), la primera se encuentra a la altura de las lanchas de instrucción, al lado del pañol del buzo, contando con un contenedor de vidrio, uno de plásticos y otro de orgánicos. En la otra zona, enfrente del pañol histórico, hay el mismo número y tipo de contenedores.



(a)



(b)

Figura 3-20 Contenedores Muelle Almirante Vierna.

Por último, la última zona donde hay contenedores es entre el Patio de Aulas y Jefatura de Instrucción. En estos contenedores se depositan los residuos generados en estas dos zonas, existiendo un contenedor de cada tipo (vidrio, plástico, residuos orgánicos y papel y cartón) (Figura 3-21).



Figura 3-21 Contenedores entre Patio de Aulas y Jefatura de Instrucción.

La Zona de Dirección deposita sus residuos generados en los contenedores más cercanos, o bien los que se encuentran en el Marqués de la Victoria o los que se encuentran en el Patio de Aulas.

A modo de resumen, se podría decir que hay un total de 12 contenedores destinados a residuos orgánicos (Figura 3-22), 11 de residuos plásticos (Figura 3-23), 11 contenedores de papel y cartón (Figura 3-24) y 7 de vidrio (Figura 3-25) cuya distribución se recoge en las siguientes tablas:

Zonas ENM	Nº Orgánicos
Barrio Industrial	1
Zona aprovisionamiento	1
Méndez Núñez	1
Cocina Alumnos	3
Marqués de la Victoria	1
Francisco Moreno	2
Muelle Almirante Vierna	2
Patio de Aulas	1
TOTAL	12

Tabla 3-1 Distribución de contenedores de residuos orgánicos.



Figura 3-22 Contenedor residuos orgánicos.

Zonas ENM	Nº Plásticos
Barrio Industrial	3
Zona aprovisionamiento	1
Méndez Núñez	1
Cocina Alumnos	1
Marqués de la Victoria	1
Francisco Moreno	1
Muelle Almirante Vierna	2
Patio de Aulas	1
TOTAL	11

Tabla 3-2 Distribución de contenedores de plástico.



Figura 3-23 Contenedor de plásticos.

Zonas ENM	Nº Papel y cartón
Barrio Industrial	3
Zona aprovisionamiento	1
Méndez Núñez	1
Cocina Alumnos	1
Marqués de la Victoria	1
Francisco Moreno	1
Muelle Almirante Vierna	2
Patio de Aulas	1
TOTAL	11

Tabla 3-3 Distribución de contenedores de papel y cartón.



Figura 3-24 Contenedor de papel y cartón.

Zonas ENM	Nº Vidrio
Barrio Industrial	2
Zona aprovisionamiento	0
Méndez Núñez	1
Cocina Alumnos	1
Marqués de la Victoria	1
Francisco Moreno	1
Muelle Almirante Vierna	0
Patio de Aulas	1
TOTAL	7

Tabla 3-4 Distribución de contenedores de vidrio.



Figura 3-25 Contenedor de vidrio.

Además de los contenedores de uso común, la ENM cuenta con un punto limpio donde se almacenan los residuos peligrosos antes de su recogida por parte de la empresa gestora. El punto limpio está ubicado en la zona de aprovisionamiento. A continuación, en la Figura 3-26, se muestran diferentes fotografías que ilustran parte de los residuos almacenados en el punto limpio. En ellas se pueden observar desde la existencia de fluorescentes y diferentes aparatos electrónicos (Figura 3-26a), residuos sanitarios debidamente etiquetados (Figura 3-26c) y aceites usados con su correspondiente etiquetado (Figura 3-26d). El etiquetado disponible en estos residuos muestra su peligrosidad, así como su composición.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3-26 Residuos en el Punto Limpio a) Zona de almacenaje, b) Fluorescentes y aparatos electrónicos, c) Aceite usados y d) Residuos sanitarios.

3.1.2 Identificación de los residuos.

Una vez identificadas las distintas zonas en la que se ha dividido la ENM y los puntos de recogida de residuos existentes en ellas, se ha procedido a identificar cada una de las clases de residuos generadas en la Escuela indicando las dependencias que contribuyen a su producción.

3.1.2.1 Residuos urbanos o asimilables a urbanos

Por lo general, todos los departamentos de la ENM generan residuos urbanos o asimilables a estos, situación lógica dado que las instalaciones existentes constituyen un asentamiento humano asimilable al de cualquier municipio. En particular, los residuos generados en las distintas dependencias se resumen de la siguiente manera:

- Aulas de formación, cuarteles y residencias.** Se genera papel, cartón, plásticos, vidrio y residuos orgánicos. Además, pequeños electrodomésticos y residuos voluminosos (mobiliario).
- Despachos, bibliotecas y oficinas.** Se genera papel, cartón, vidrio, tóner, así como residuos orgánicos.
- Cocinas, comedores y hospital.** Se generan envases (plástico, metal, vidrio, etc.), papel, cartón, aceites vegetales, etc., así como residuos orgánicos.
- Otras áreas en general (servicios auxiliares, área industrial, pañoles, etc.).** En estas zonas se generan residuos de mantenimiento de zonas verdes (restos orgánicos vegetales), restos de equipos y materiales electrónicos que no contienen componentes peligrosos, residuos de acondicionamiento (colchones, muebles, enseres, etc.), residuos de limpieza y escombros de pequeñas obras.

De manera más detallada, en la Figura 3-27 aparecen representados los distintos residuos urbanos y asimilables a urbanos que se generan en la Escuela Naval Militar de Marín, así como las cantidades aproximadas obtenidas de cada uno de ellos anualmente. Adicionalmente se incluyen cada una de las dependencias responsables de su generación.

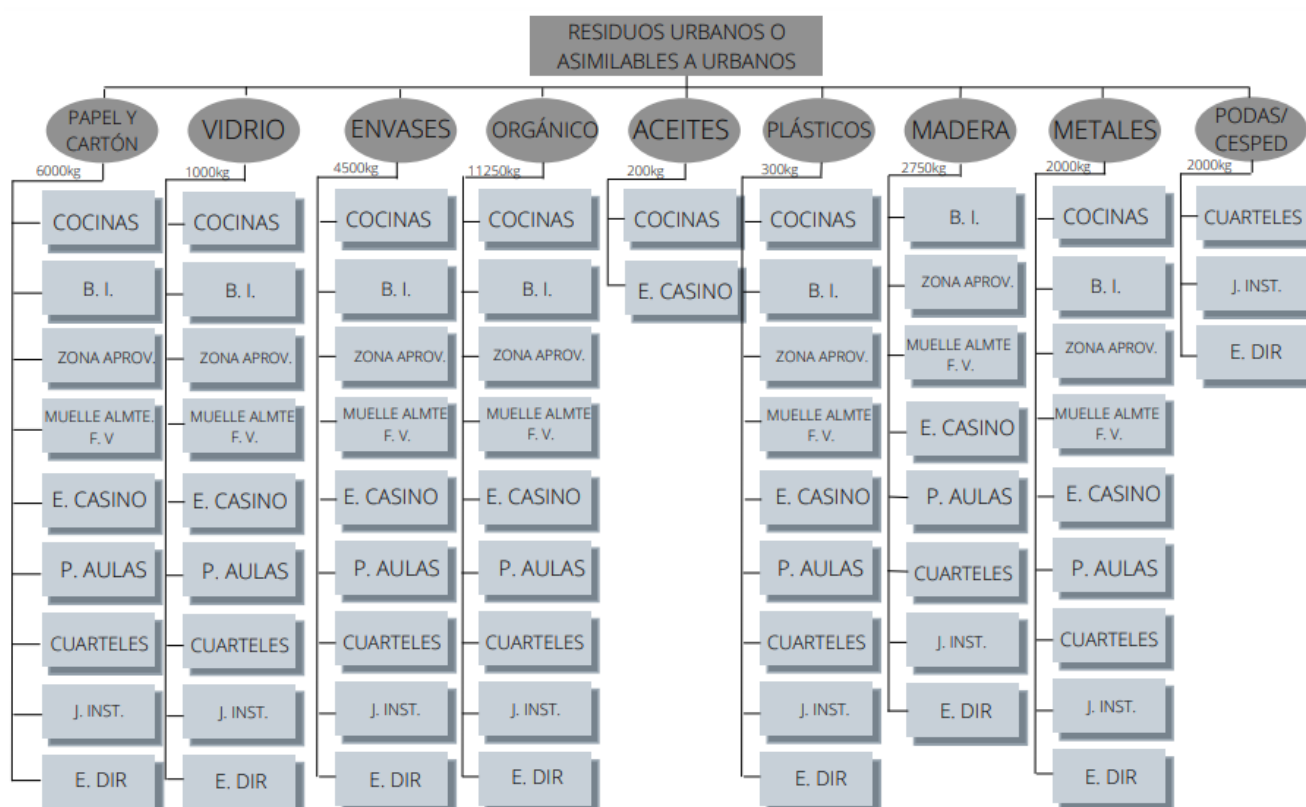


Figura 3-27 Esquema Residuos Urbanos y asimilables a Urbanos en la ENM.

3.1.2.2 Residuos industriales no peligrosos

Estos residuos son generados en servicios auxiliares, el área industrial o los pañoles. Entre ellos se encuentran los residuos no peligrosos procedentes de talleres, serrín, envases no peligrosos o restos de

chatarra. Al igual que en el caso anterior, en la Figura 3-28 se pueden observar las diferentes zonas de generación de esta tipología de residuos, entre las que destaca el Barrio Industrial (B.I), el cual, debido a los numerosos talleres que se encuentran en esa ubicación, es una de las zonas con un mayor volumen de desechos.

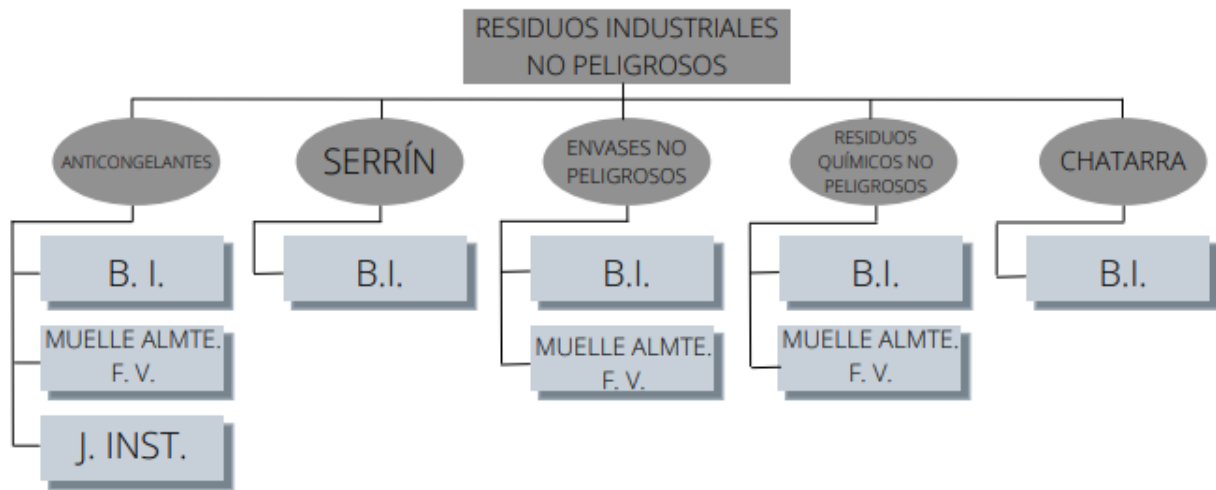


Figura 3-28 Esquema gestión de Residuos Industriales No Peligrosos.

3.1.2.3 Residuos peligrosos

Estos residuos son generados en diferentes departamentos de la ENM, donde se pueden destacar los siguientes:

- Zona Industrial.** Los residuos generados son aceites usados, filtros y materiales absorbentes impregnados con hidrocarburos, baterías de plomo, restos de disolventes no halogenados, lodos de percloroetileno (lavandería) y envases vacíos de pinturas, adhesivos, lubricantes, desengrasantes, etc.
- Zonas comunes (aulas, despachos, oficinas...).** Se generan pilas (de tipo botón y no botón), tubos fluorescentes y lámparas de mercurio, tóner de impresoras y fotocopadoras que contengan sustancias peligrosas, residuos electrónicos de carácter peligroso y materiales absorbentes impregnados con hidrocarburos.
- Servicios auxiliares.** Los residuos resultantes de estas zonas son envases vacíos de productos químicos (hipoclorito, alguicidas, etc.) u otros productos peligrosos (pinturas, barnices, etc.).
- Gabinete poligráfico e imprenta.** Los restos generados son restos de tintas, disolventes y fijadores fotográficos, materiales absorbentes impregnados con hidrocarburos (tintas, gasolina, etc.) y envases vacíos de tintas, gasolina, reveladores y fijadores fotográficos.
- Barcos y lanchas de instrucción.** En ellas se generan aguas oleosas de sentinas, aceites usados, filtros y materiales absorbentes impregnados con hidrocarburos, baterías de plomo, restos de productos químicos y envases vacíos de pinturas, productos químicos, etc.
- Residuos sanitarios.** Estos residuos son generados en el hospital y son residuos biosanitarios (biológicos y citostáticos), líquido revelador/fijador y líquidos de maquinaria Rx.
- Laboratorios.** En los laboratorios se generan residuos químicos peligrosos, así como envases vacíos de estos productos químicos.

En el esquema representado en la Figura 3-29 se presentan los diferentes residuos peligrosos que han sido identificados en la ENM. Destacar que todos ellos son almacenados en envases específicos destinados a tal fin.

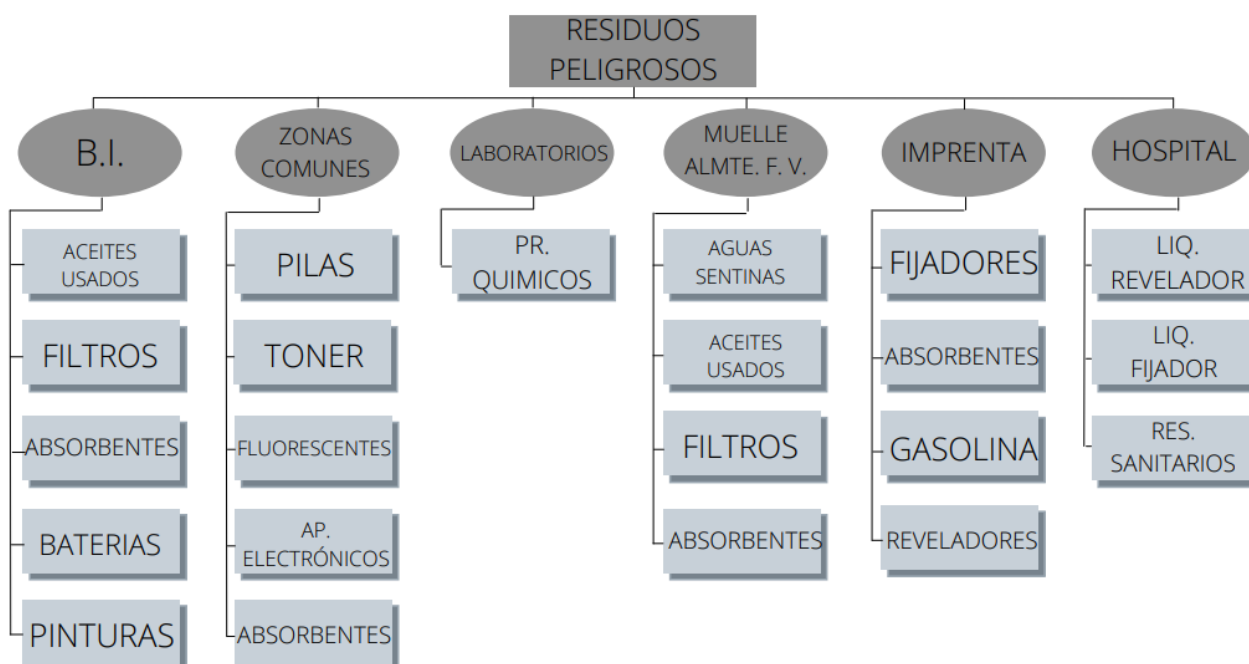


Figura 3-29 Esquema Residuos Peligrosos.

3.1.3 Gestión de residuos

Tal y como se mencionó anteriormente, el oficial de Medioambiente (OMA) es el responsable de la adecuada gestión de los residuos de la ENM de Marín. La Escuela Naval, debido a que se trata de un centro militar, se sigue el orden jerárquico que se muestra en la Figura 3-30 a la hora de recoger un residuo, ya sea peligroso o no.

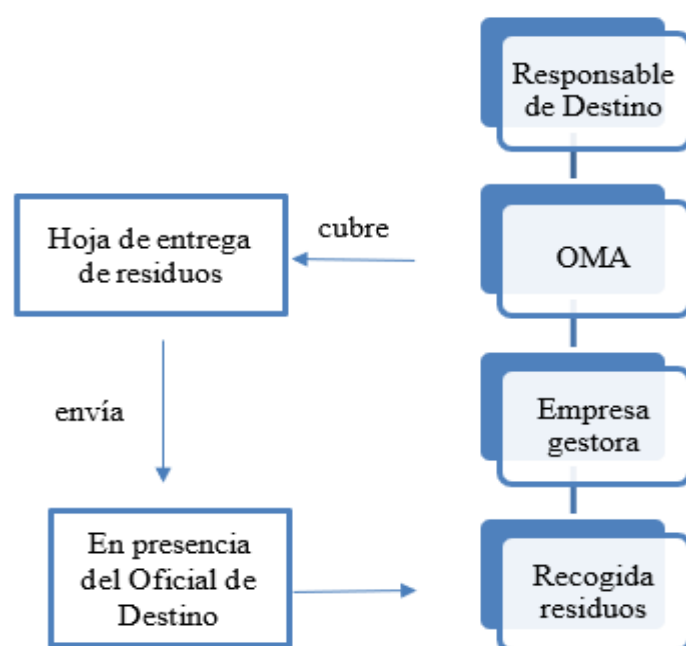


Figura 3-30 Orden jerárquico de la recogida de residuos.

En el esquema representado a continuación (Figura 3-31) se resume la gestión de residuos realizada en la Escuela Naval Militar donde se hace una clara diferenciación entre los residuos urbanos, los residuos peligrosos, los residuos industriales no peligrosos y los residuos sanitarios. Se puede observar como en la gestión de residuos también se contempla el almacenamiento de los residuos hasta su posterior recogida por un gestor externo.

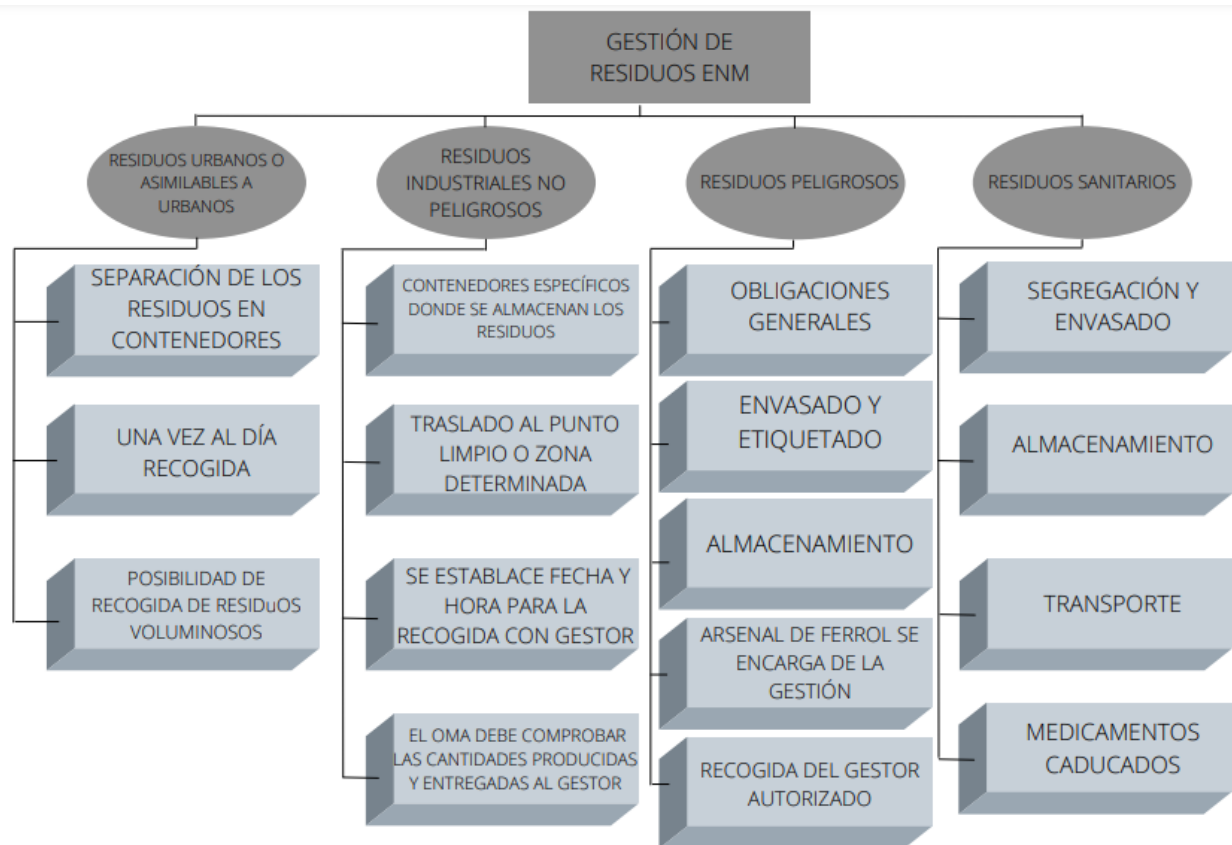


Figura 3-31 Organigrama gestión de residuos ENM.

3.1.3.1 Residuos urbanos o asimilables a urbanos

Tal y como se ha visto anteriormente, los residuos urbanos se generan prácticamente en toda la ENM debido a que son los residuos más habituales. Estos residuos son depositados en los diferentes contenedores que se encuentran distribuidos a lo largo de la ENM y son recogidos por una empresa gestora perteneciente al Ayuntamiento de Marín (véase Figura 3-32).



(a)



(b)

Figura 3-32 Recogida de contenedor de papel y cartón.

La frecuencia de recogida es variable en función de la tipología de residuo oscilando entre dos veces por semana y una vez al día.

- **Contenedores de residuos orgánicos.** La recogida se realiza una vez al día, generalmente por la noche.
- **Contenedores de plástico.** La recogida de estos contenedores se efectúa cada dos o tres días dependiendo de la cantidad de plástico depositada en el interior de los contenedores.
- **Contenedores de papel o cartón.** Estos contenedores se recogen a demanda (cuando se encuentran llenos), por lo general suelen recogerlos en uno o dos meses. La única excepción son los contenedores ubicados cerca de las cocinas puesto que se llenan más rápidamente y, por tanto, se recogen con una frecuencia mayor.
- **Contenedores de vidrio.** Su recogida se efectúa cuando están llenos, por lo general en más de seis meses.

En caso puntuales en los que se produzca una generación excesiva de algunos residuos, como ocurre cuando tiene lugar el atraque de algún barco que proviene de alguna navegación larga, la ENM informa a la empresa gestora quien acude a recogerlos lo antes posible. Por otro lado, cuando la Escuela prevé la generación de determinados residuos tales como maderas, metales o residuos voluminosos que no pueden ser depositados en los contenedores convencionales, esta avisa con antelación a la empresa gestora para que proceda a su recogida.

3.1.3.2 Residuos industriales no peligrosos

Los residuos industriales no peligrosos son depositados en contenedores específicos e identificados, donde únicamente se depositan esta tipología de desechos. Una vez están llenos, se trasladan al punto limpio donde permanecen hasta que son recogidos por el gestor autorizado. La recogida de estos residuos se realiza a demanda, cuando están llenos los depósitos se avisa al gestor para que procedan a su recogida.

3.1.3.3 Residuos peligrosos

Estos residuos son manipulados con cautela y depositados en los recipientes específicos diseñados para tal fin. Su almacenaje tiene lugar en el punto limpio existente en la ENM hasta su próxima recogida por el gestor. Al igual que ocurría con los residuos no peligroso, será el gestor autorizado quien realice la recogida, previa solicitud por parte del Centro. Ha de tenerse en consideración que el tiempo de almacenamiento máximo de los residuos peligrosos es de 6 meses, de tal forma que, si transcurrido este periodo de tiempo no se han llenado los contenedores disponibles en el punto limpio, estos serán recogidos igualmente.

La gestión de los residuos peligrosos tiene como principal coordinador al Arsenal Militar de Ferrol, quien se encarga de coordinar su recogida de la ENM mediante un gestor autorizado. Una vez se entregan los residuos peligrosos a la empresa gestora, la ENM se desentiende de dichos residuos, siendo esta la responsable de ellos. La ENM dispone de envases sólidos, resistentes, sin defectos estructurales ni fugas, debidamente etiquetados y específicos para estos residuos que se encuentran situados en las principales áreas de generación.

En la Figura 3-33 se muestra, a modo de ejemplo, un pictograma identificativo correspondiente a un contenedor de residuos peligrosos en el cual figura la naturaleza del riesgo del residuo allí envasado (explosivo, inflamable, comburente, irritante corrosivo, irritante, ecotóxico, tóxicos específicos, tóxico agudo o gas comprimido).



Figura 3-33 Pictograma identificativo de los contenedores o envases destinados a residuos peligrosos.

Otra de las particularidades de la ENM, como ya se ha comentado anteriormente, es que la identificación y cuantificación de los residuos peligrosos generados no se realiza antes, como es habitual, sino durante su recogida por parte de la empresa gestora autorizada.

3.1.3.3.1 Residuos sanitarios

Los residuos sanitarios son un tipo concreto de residuos peligrosos debido a su naturaleza y procedencia. Entre las numerosas instalaciones de la ENM se encuentra un hospital, encargado de asegurar el estado de salud del personal y una farmacia, siendo ambas dependencias las productoras de esta clase de desechos.

En la ENM existe residuos sanitarios de las tres clases establecidas. Los residuos de Clase I, se depositan en los contenedores destinados a residuos urbanos. Sin embargo, los residuos sanitarios de Clase II se depositan en envases rígidos establecidos específicamente para ello. Por otro lado, los residuos sanitarios de Clase III se depositan en envases desechables rígidos, imperforables e impermeables, estos envases van rotulados con el Pictograma de Bioriesgo, el cual se muestra en la Figura 3-34.



Figura 3-34 Pictograma de Bioriesgo [32].

Por tanto, los residuos de la Clase II y III se almacenan como si de otro tipo de residuo peligroso se tratase, siendo recogidos por el gestor autorizado una vez se llenen los envases o alcanzados los 6 meses de tiempo de almacenamiento máximo.

Dentro de los residuos sanitarios se encuentran los medicamentos caducados, siendo estos gestionados por la Farmacia de la ENM, quien se encarga de contactar con la empresa proveedora para su recogida, almacenándolos hasta ese momento.

3.1.4 Cuantificación de los residuos.

La cuantificación de los residuos de la ENM se realiza de manera exacta o estimada en función de la tipología del residuo del que se trate, tal y como se puede observar en la Figura 3-35.



Figura 3-35 Cuantificación residuos.

En lo referente a los residuos urbanos o asimilables a urbanos (todos aquellos depositados en los contenedores) la estimación de su cantidad se realiza de forma aproximada en función de la cantidad de residuos que pueden almacenarse en los contenedores y la frecuencia de recogida. En cuanto a los residuos peligrosos, debido a la naturaleza y peligrosidad asociada a los mismos, su cuantificación se realiza de manera más precisa, siendo la empresa gestora encargada de su recogida quien los pesa y envía los datos a la ENM.

Con el fin de analizar la evolución de los distintos residuos generados en la ENM, se han elaborado una serie de gráficas que muestran la evolución desde 2008 hasta 2020. En la primera de ellas, correspondiente a la Figura 3-36, se puede observar el porcentaje de residuos generados en la ENM durante el pasado año.

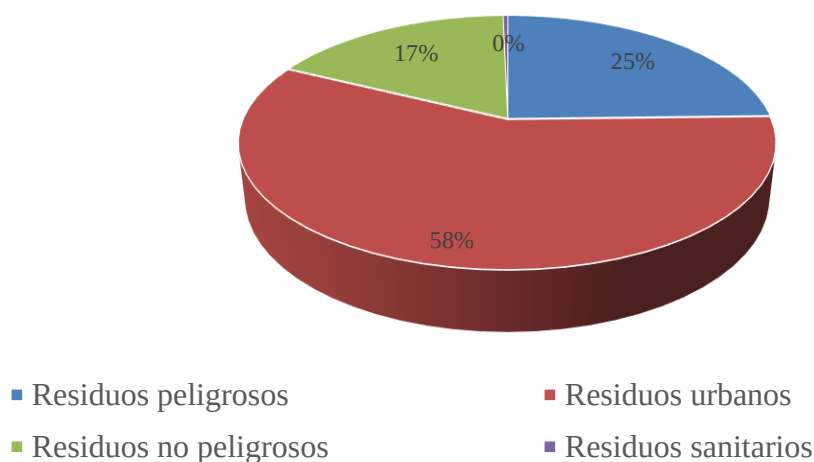


Figura 3-36 Residuos generados en la ENM en el año 2021.

De acuerdo a los datos presentados, más de la mitad de los residuos generados en el año 2021 son residuos urbanos o asimilables a urbanos, los residuos peligrosos constituyen la cuarta parte mientras

que los no peligrosos suponen el 17% del total. La presencia de residuos sanitarios durante ese año ha sido insignificante.

3.1.4.1 Residuos peligrosos

En la Tabla 3-5 se presentan las cantidades correspondientes a los residuos peligrosos de la Escuela Naval Militar de Marín desde el año 2008 hasta el año 2020. Aquellas celdas que aparecen vacías se deben a que no figuran dichas cantidades en el registro del que dispone la Escuela, muy probablemente porque no se hubiese producido ese tipo de residuo durante el año en cuestión.

Residuos (kg)	Años												
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Fluorescentes	450	200	424	100	240	150	250	200	122	230	129	500	550
Aceite usado		5300	4590	2000	8000	9400	1550	5000	3693	1820	1480	3000	2288
Aguas sentina					0	2400	5800	7100	4668	7780	785	4300	2120
Pilas	155	60	70	70	0	130	35	85	35	103	40	50	40
Baterías	700	200	190	500	0	1000	100	145	127	269	494	0	370
Aparatos electrónicos	1250	400	3307	300	700	1480	2400	1250	1136	2333	1360	1500	1621
Absorbentes	125	80	315	100	0	315	150	700	262	151	540	1000	220
Envases	1100	500	942	330	0	1050	950	900	540	1133	800	800	1980
Pinturas	20	100	1331	200	0	300	300	740	1100	171	760		180
Tóner		75	86	200	13.55	33.55	70	200		142	80	100	42
Percloro	15				0	10	50	0			0		
Filtros					0	700	430	400		0	0	0	179
R. sanitarios					40	20				5		360	47
R. químicos	170		552				60	110	384	1752	160	500	201
Botellas gas abandonadas							200	1405	389	0	0		
Desconocidos abandonados							400	0		0	0		
Baterías -Ni-Cd							0	180		292	0		
Viruta, taladrinas									180	0	0		
Fijador										62	0		
Revelador										25	0		
TOTAL	3985	6915	11807	3800	8993	16988	12745	18415	12636	16268	6628	12110	9838

Tabla 3-5 Residuos peligrosos.

Durante los 13 años de los que se dispone de registro, el año 2015 ha sido en el que se ha producido una mayor cantidad de residuos. Para ver de manera más clara la evolución temporal de las cantidades generadas de los diferentes tipos de residuos peligrosos, a continuación, se presentan una serie de gráficas.

En la Figura 3-37 se puede observar un pico en la cantidad de fluorescentes desechados durante el año 2010, al igual que sucede durante el año 2016, probablemente debido a la renovación de parte de la iluminación existente en algunas de las dependencias de la ENM. En dicha figura se puede contemplar también la cantidad de absorbentes producidos, los cuales son generados mayoritariamente en el Barrio Industrial con la finalidad de absorber las fugas y derrames de líquidos y sustancias contaminantes como grasas o aceites. En cuanto a las pilas, se ha registrado una menor producción a lo largo de los años en comparación con las baterías. Se puede apreciar que las baterías tienen picos cada tres o cuatro años los cuales se deben a la vida útil media que tiene una batería de vehículo. Por su

parte las pinturas son un residuo que siempre está presente debido al pintando de ciertas zonas de la ENM que se lleva a cabo en función del estado de las mismas.

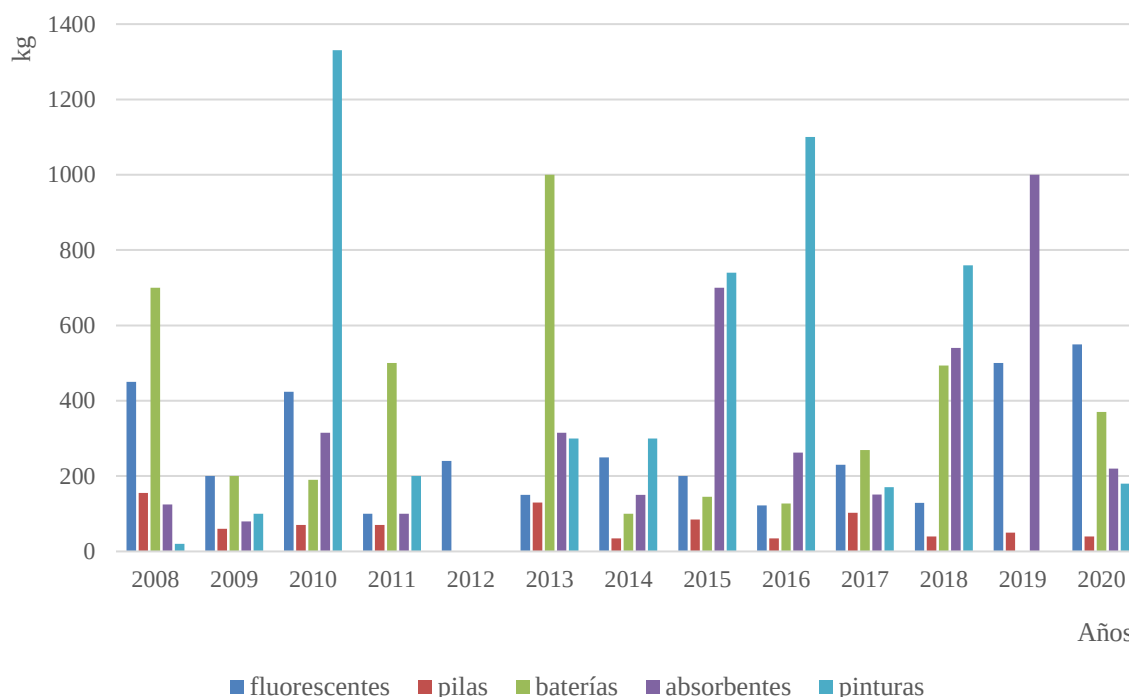


Figura 3-37 Residuos peligrosos.

En la Figura 3-38 Gráfica de aceite usado frente a aguas de las sentinas. se han querido comparar dos residuos peligrosos líquidos que provienen en su gran mayoría del mismo origen, los buques de la Escuela. En el caso del agua de las sentinas, proviene únicamente de los buques mientras que los aceites usados también se recogen de los vehículos y de cierta maquinaria de la ENM. La gráfica pone de manifiesto como hasta el año 2013 no se contabilizaba el agua de las sentinas debido a la falta de recursos y una tendencia decreciente en los últimos 7 años en la generación de aceites usados, lo que significa que se está reduciendo el consumo del mismo.

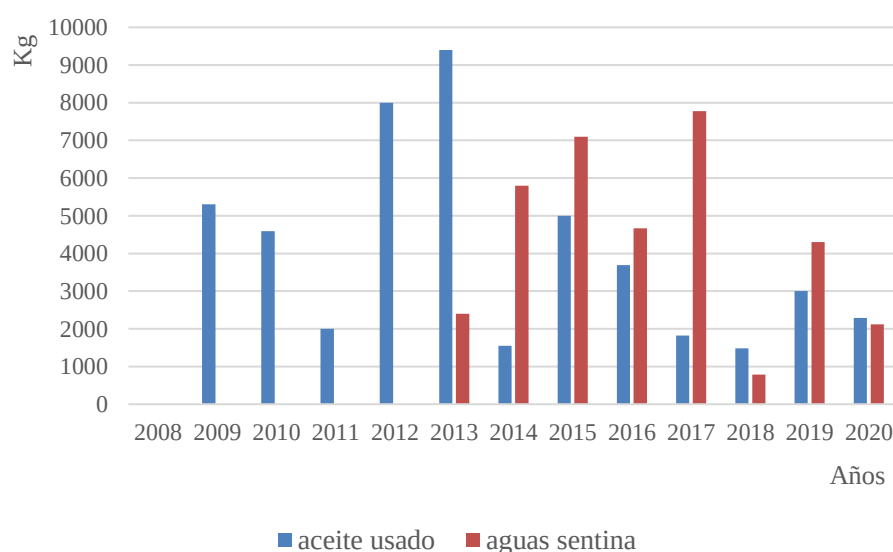


Figura 3-38 Gráfica de aceite usado frente a aguas de las sentinas.

En lo referente a la cantidad de aparatos electrónicos que se generan en la ENM, representados en la Figura 3-39, en el año 2010 se puede apreciar un pico donde la ENM se deshizo de 3.250 kg de

aparatos electrónicos (ordenadores, impresoras, teclados, ratones, teléfonos, etc) consecuencia de una modernización significativa de este tipo de aparatos lo que provocó, a su vez, que en el año 2011 fuesen escasos los residuos de este tipo.

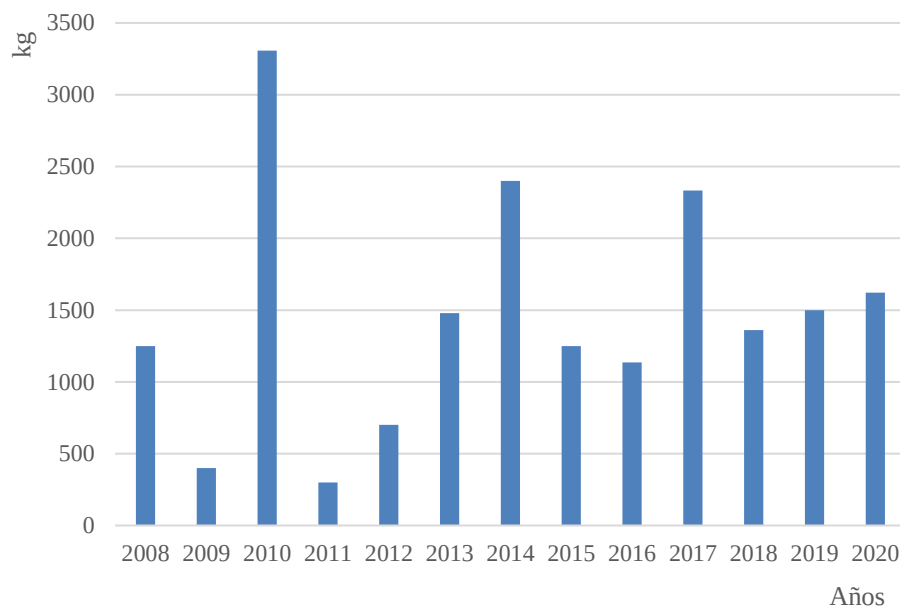


Figura 3-39 Gráfica cantidad aparatos electrónicos.

Por su parte, el tóner es un residuo peligroso que se obtiene de las impresoras y que puede llegar a ser perjudicial para el medioambiente. El consumo y por tanto las cantidades de residuos producidas, ha ido variando a lo largo de los años tal y como muestra la Figura 3-40, teniendo picos en el año 2011 y en el 2015.

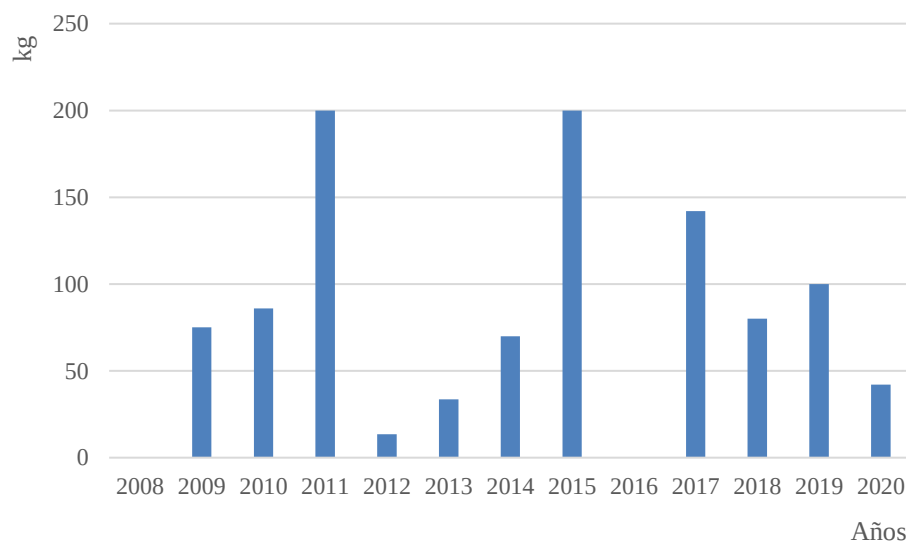


Figura 3-40 Gráfica del tóner.

En lo que respecta a los productos químicos, son residuos que pueden tener una gran peligrosidad dependiendo de sus características. En la ENM estos productos son generados tanto en los laboratorios como en los diferentes talleres. En la Figura 3-41 se observa como su generación es irregular dependiendo del año, siendo el mayor pico registrado en 2017.

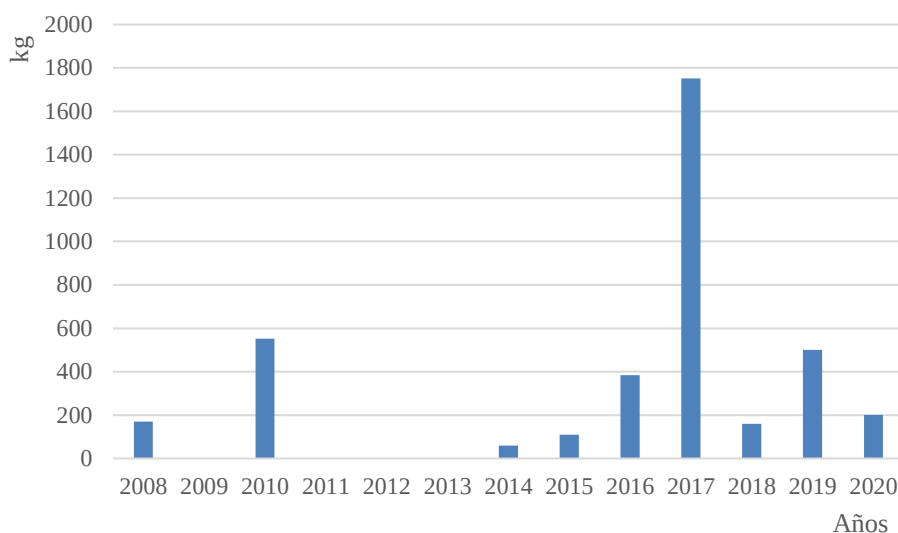


Figura 3-41 Gráfica de productos químicos.

Los residuos sanitarios son generados principalmente en el hospital. Los fijadores y reveladores son elementos hospitalarios que se emplean para la realización de radiográficas y son peligrosos debido a las propiedades que tienen. En la Figura 3-42 se puede observar como la generación de estos residuos se produce en momento puntuales debido a que únicamente hay datos de cuatro años diferentes. Si bien su generación se ha acentuado durante el año 2019 debido a la pandemia mundial del COVID-19.

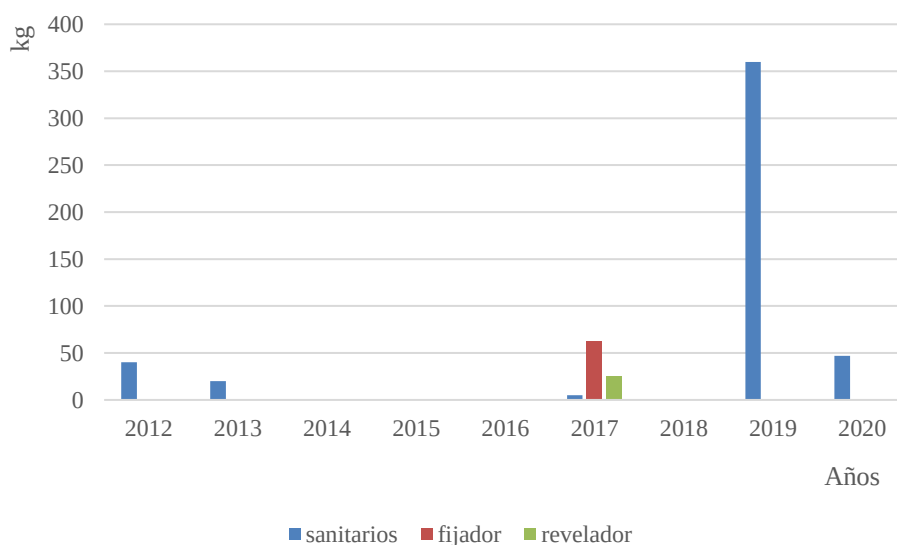


Figura 3-42 Gráfica de residuos sanitarios.

Para finalizar con la cuantificación de los residuos peligrosos de la ENM, se ha realizado la Tabla 3-6 con los datos recogidos de diferentes residuos poco comunes como son botellas de gas abandonadas, baterías de Ni-Cd o virutas y taladrinas, de los que se dispone únicamente registro de las cantidades producidas durante años puntuales.

Tipos:	Años			
	2014	2015	2016	2020
Botellas de gas abandonadas	200	1405	389	30
Baterías Ni-Cd	2015	2017		
	180	292		
Virutas, taladrina	2016			
	180			

Tabla 3-6 Cuantificación Residuos Peligrosos menos comunes.

De manera global, en la Figura 3-43 se representan los porcentajes generados de los distintos tipos de residuos peligrosos en el año 2021. En esta gráfica se puede comprobar que los aceites usados, procedentes de barcos, automóviles y maquinaria que se encuentra en la Escuela, son los predominantes con un 31% del total, seguidos de los envases con un 27%, procedentes en su mayoría del adecentamiento de las instalaciones de la Escuela y de los aparatos electrónicos, cuyas renovaciones, han supuesto el 22% de los residuos generados durante el año 2020.

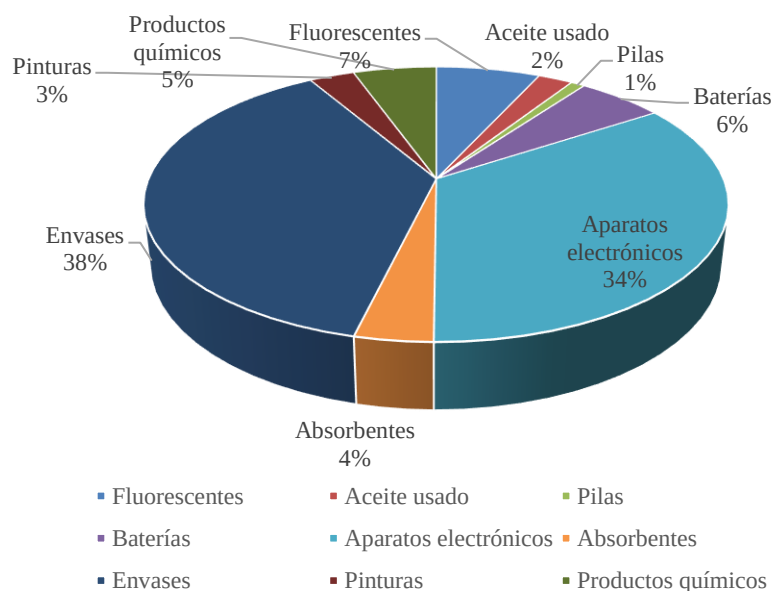


Figura 3-43 Porcentaje de residuos peligrosos generados en la ENM en el año 2021.

3.1.4.2 Residuos urbanos

Tal y como se comentó con anterioridad, la cuantificación de los residuos urbanos se realiza por estimación, teniendo en cuenta la capacidad de los contenedores y la frecuencia de recogida de los mismos. Por esta razón, su cantidad no varía a lo largo de los años puesto que el método de cálculo es el mismo al igual que la frecuencia de recogida.

Como resumen de todos los residuos urbanos que se generan en un año en la ENM se ha realizado la Tabla 3-7, cuya cantidad asciende a un total de 30.000 kg en este último año.

RESIDUOS URBANOS 2021	Cantidad (kg)
Residuos orgánicos	11250
Envases	4500
Papel y cartón	6000
Vidrio	1000
Aceites cocinas	200
Maderas	2000
Plásticos	300
Metales	2000
Podas/césped	2000
TOTAL	30000

Tabla 3-7 Resumen residuos urbanos generados en la ENM.

Si estos valores se representan en porcentaje (véase la Figura 3-44) se puede observar cómo los residuos orgánicos son los más abundantes en la ENM, con una estimación de 11.250 kg/año lo que supone un 37% del total de los residuos urbanos producidos, los cuales proceden de las casi mil personas que se encuentran en la ENM. Por otra parte, se puede ver como se generan grandes cantidades de papel y cartón debido al gran número de aulas y oficinas que hay en la Escuela.

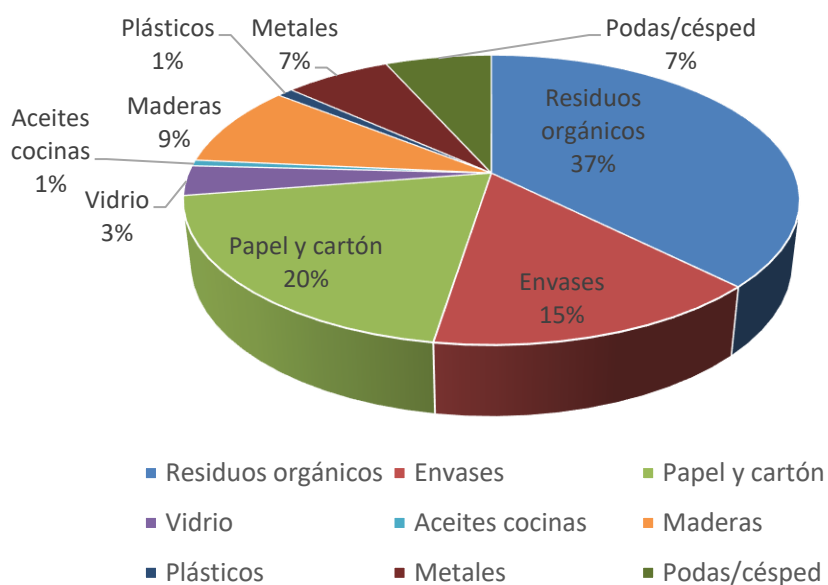


Figura 3-44 Porcentaje de residuos urbanos producidos en la ENM durante el año 2021.

3.2 Evaluación de alternativas de tratamiento

De manera general, los residuos, una vez son recogidos deben someterse a un tratamiento con la finalidad de darles una segunda vida, ya sea con la misma función que la inicial o diferente. En este apartado se van a analizar diferentes opciones de tratamiento, tanto para residuos orgánicos como para biomasa lignocelulósica, con el fin de seleccionar aquellas alternativas que puedan resultar de interés y más viables para ser implementadas en la ENM de Marín.

3.2.1 Residuos orgánicos

Aunque existen diferentes opciones de tratamiento de residuos orgánicos, a continuación, se van a explicar aquellas que se pueden llegar a compaginar mejor con la ENM en función de los residuos generados.

3.2.1.1 Compostaje

El compostaje se trata de un proceso de descomposición biológica aerobia y estabilización de sustratos orgánicos, dando lugar a un producto final estable denominado compost (Figura 3-45). Este material final presenta un bajo contenido en humedad, está libre de patógenos y semillas y conserva un porcentaje importante de los nutrientes presentes en el producto inicial. Su volumen es muy inferior al del residuo de partida (reducción de peso y volumen de entre el 40% y el 50%) debido a la evaporación de gran parte del agua existente que tiene lugar durante el proceso de compostaje.

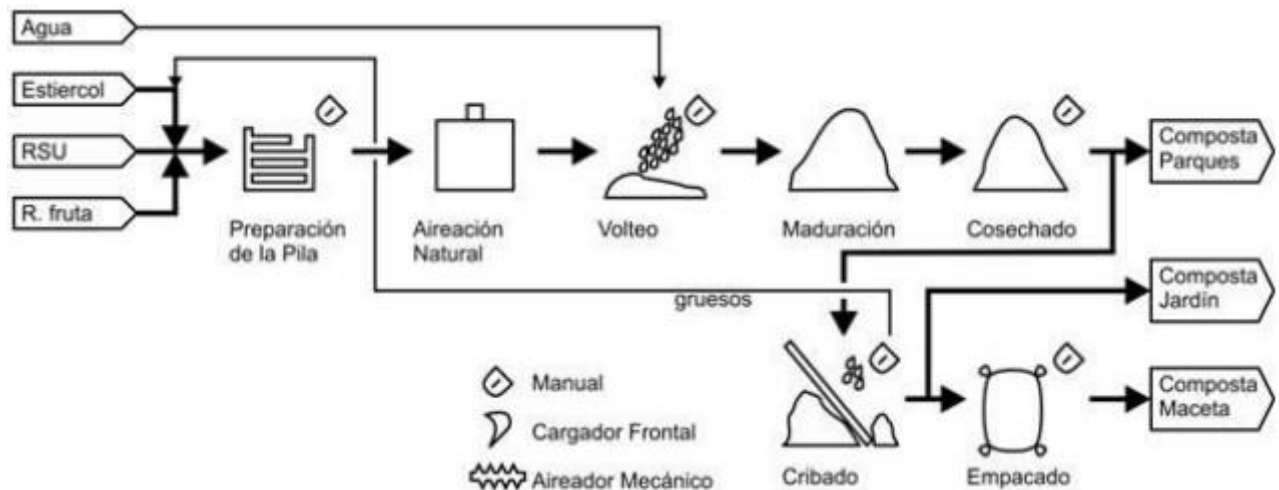


Figura 3-45 Proceso de compostaje [33].

Para obtener compost es necesario alcanzar una serie de etapas de descomposición y maduración (véase Figura 3-46). El proceso se inicia con una degradación mesófila de la materia orgánica en presencia de aire seguida de una degradación termófila. Esta descomposición de materia orgánica se debe a la existencia de reacciones químicas exotérmicas que provocan un aumento de temperatura en la matriz del sustrato alcanzando temperaturas entre los 50 °C y 70 °C y que, dan lugar a una elevada evaporación del agua contenida en la materia inicial. La acción de los microorganismos hace que se consuma oxígeno, produciéndose dióxido de carbono, agua y calor, necesitando aportar aire. Existen dos opciones de suministrar aire, o bien dando un volteo a la pila o por sistemas mecánicos (soplantes). Con esta aireación se consiguen dos funciones: aportar oxígeno a los microorganismos y regular el exceso de humedad por evaporación, manteniendo a su vez la temperatura adecuada en la pila.

Una vez realizado este proceso se produce la maduración del compost, donde tiene lugar la degradación de las moléculas complejas presentes en la materia orgánica del material inicial dando como resultado la formación de ácidos fúlvicos y húmicos. En esta etapa se disminuye lentamente la temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente.

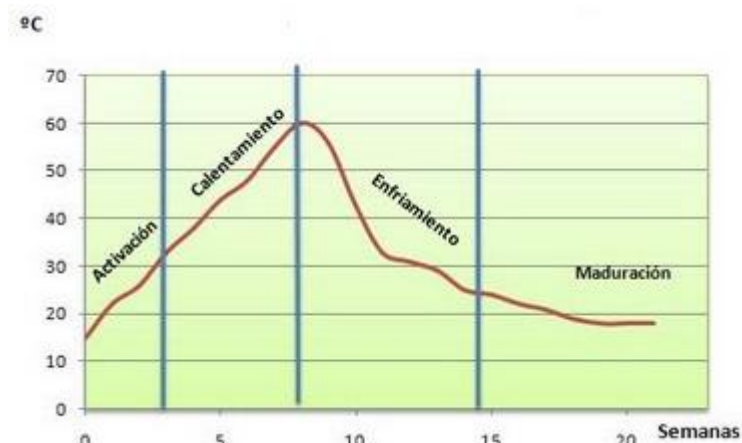


Figura 3-46 Fases del compostaje [34].

El método más sencillo y con menor coste de obtención de compost es la formación de pilas o hileras de una altura de dos metros y de sección triangular o trapezoidal como se muestra en la Figura 3-47. Si la pila tiene una altura excesiva provoca que tenga una mayor compactación y por lo tanto una menor aireación. Por lo contrario, si es excesivamente baja, es complicado que la temperatura ascienda ya que la pila se enfría con facilidad. Las pilas deben estar en superficies debidamente impermeabilizadas y con un sistema de recogida de lixiviados evitando filtraciones a acuíferos o la contaminación de cauces de agua cercanos.



Figura 3-47 Pila de compost [35].

El tiempo necesario para el compostaje suele oscilar entre las 8 y 16 semanas. En el proceso, se deben controlar diferentes parámetros como la humedad, la relación C/N (relación de carbono/nitrógeno) o la aireación, manteniéndolos en el rango óptimo. En la Figura 3-46 se muestran las diferentes fases en función de la temperatura.

Para que el compostaje se realice de manera adecuada es necesario mantener unas condiciones óptimas que permitan el establecimiento y desarrollo de los microorganismos encargados de realizar la descomposición aerobia del sustrato de partida. A continuación, se comentan diferentes parámetros de influencia en el proceso:

- **Humedad.** Las elevadas tasas de evaporación del agua presente en el material de partida pueden hacer necesario un aporte adicional de agua a las pilas. El rango óptimo para iniciar el proceso debe estar entre 40-65% y sin superar un 80%.
- **Relación C/N.** La relación carbono/nitrógeno debe encontrarse preferiblemente entre los valores de 25-35% para producir el arranque del proceso.
- **Aireación.** Se hace necesario el volteo manual o mecánico de las pilas de compost o la existencia de una ventilación forzada que garanticen condiciones de aerobiosis.
- **Porosidad.** Es necesario una cierta esponjosidad del material que favorezca la aireación de las pilas y con ellos la descomposición del sustrato de partida.

A continuación, en la Tabla 3-8 se presentan los valores óptimos y los aceptables de los factores de mayor influencia en el proceso de compostaje:

Parámetros	Valores óptimos	Valores aceptables
Relación C/N	25-30/1	20-40/1
Humedad	50-60%	40-65%
Oxígeno	8%	>5%
pH	6,5-8	6,5-9
Temperatura	65-70 °C	55-75 °C

Tabla 3-8 Parámetros que influyen en el compostaje.

3.2.1.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica (DA) es un proceso biológico que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica de partida se transforma por la acción de microorganismos en una mezcla de gases denominado biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y un digestato rico en nitrógeno que puede ser como los utilizados como fertilizante en la agricultura. Se trata de un proceso complejo donde, gracias a la intervención de diferentes grupos de microorganismos, la materia prima de partida se descompone en compuestos más sencillos. El biogás producido es una fuente de energía renovable pudiendo ser utilizado para la producción de calor, electricidad, como combustible vehicular o incluso ser inyectado a la red de gas, previo proceso de limpieza y purificación.

La DA consta de cuatro etapas (véase Figura 3-48), las cuales tienen diferentes velocidades de reacción y requieren un equilibrio para evitar la acumulación de compuestos intermedios que pueden resultar inhibidores para los microorganismos implicados. A continuación, se presentan cada una de ellas:

- **Hidrólisis.** Se produce debido a la acción de exoenzimas que suponen la ruptura de las macromoléculas orgánicas, que pueden ser utilizadas directamente por los microorganismos, hasta subunidades más pequeñas que pueden ser transportadas fácilmente al interior de la célula. Esta etapa es fundamental para el proceso de DA, pero a su vez, es la etapa limitante puesto que existen ciertos residuos que limitan su biodegradabilidad y hacen imposible el proceso.
- **Acidogénesis.** Tras la hidrólisis, durante la fermentación acidogénica, se metabolizan los productos de la hidrólisis en el interior de la célula, transformando así la materia orgánica disuelta en una gran variedad de productos de fermentación.
- **Acetogénesis.** Los productos finales de la anterior etapa son transformados en ácido acético, CO_2 e H_2 , que sirven de sustrato a bacterias metanogénicas.
- **Metanogénesis.** Esta etapa es la final de la DA, en ella los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano.

Se debe tener en cuenta que, en las dos primeras etapas, cuando se degradan residuos urbanos, se producen grandes cantidades de H_2 , alcanzando hasta un 60% respecto al volumen del biogás generado.

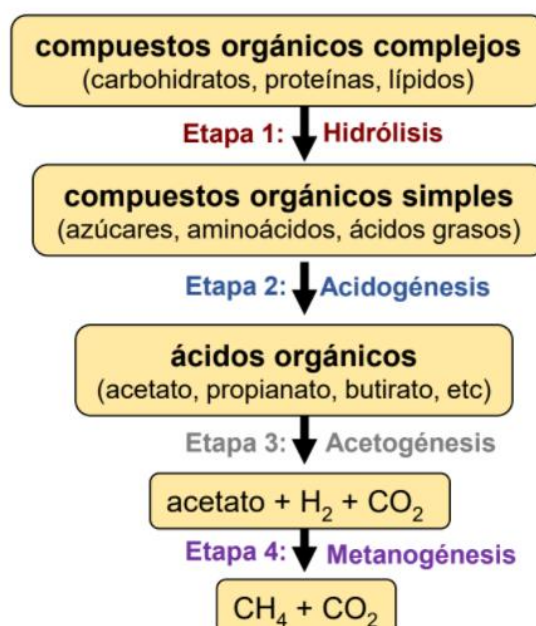


Figura 3-48 Etapas de la digestión anaerobia.

La DA es un proceso donde influyen diferentes factores, por lo tanto, es necesario mantener las condiciones óptimas para que el proceso tenga lugar de manera satisfactoria. Los principales parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

- **Temperatura.** La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados en el proceso que, a su vez, son dependientes de la T^a . Existen 3 rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaerobios: psicrófilo ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo óptima $15\text{ }^{\circ}\text{C}$), mesófilo ($20 < T < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo óptima $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) y termófilos ($T > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo óptima a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- **pH.** Los diferentes grupos de bacterias que actúan en el proceso de DA presentan niveles de actividad óptimo con valores de pH próximos a la neutralidad, siendo válidos valores de pH entre 6 y 8.
- **Alcalinidad.** La alcalinidad es una medida de la capacidad buffer del sistema, que es la capacidad que posee el sistema de mantener estable el pH frente a la adición de cantidades pequeñas de ácidos o bases fuertes. En muchos casos para mantener el pH óptimo en el reactor es necesaria la suplementación de alcalinidad utilizando productos químicos.
- **Macronutrientes y micronutrientes.** En las reacciones bioquímicas se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (elementos traza) para la síntesis de nueva biomasa. Se necesitan alrededor de 12 g de nitrógeno pro cada 100 g de biomasa y la demanda de fósforo es de 1/7-1/5 de la demanda de nitrógeno.
- **Relación C/N.** El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. La relación óptima de C/N debe estar entre 30/1 y 20/1.

En la digestión anaeróbica es necesario realizar una previa trituración de la materia que se va a introducir en el reactor para que el proceso se ejecute de la mejor manera posible. Además, en función de las características del sustrato a digerir puede ser conveniente la codigestión o digestión de 2 o más sustratos de diferente naturaleza, aprovechando la sinergia de las mezclas de tal manera que se compensan las carencias de cada uno de los sustratos por separado.

3.2.2 Biomasa lignocelulósica

En lo referente a los residuos de carácter lignocelulósico generados en la ENM de Marín tales como restos de poda, césped o maderas se podrían plantear principalmente las 2 alternativas siguientes:

3.2.2.1 Pirólisis

La pirólisis es una degradación térmica en ausencia de oxígeno donde las sustancias se descomponen mediante el calor sin que se produzcan reacciones de combustión. El único oxígeno que se encuentra en esta reacción es el perteneciente a los residuos tratados.

Durante la pirólisis, las grandes moléculas de hidrocarburos de biomasa se descomponen en moléculas más pequeñas y más simples de gas, líquido (bio-oil) y char (carbón vegetal). La proporción en el producto dependerá de una serie de factores, tales como la temperatura de la pirólisis, el tiempo de reacción o la velocidad de calentamiento.

En la pirolisis existen diferentes etapas:

1. **Secado.** Evaporación humedad de la biomasa a $80\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Etapa muy endotérmica. Reduce consumo energético e incrementa el rendimiento energético del proceso.
2. **Deshidratación.** Deshidratación celulosa y hemicelulosa entre $150\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Etapa levemente exotérmica. Producción gases permanentes (CO y CO_2) y agua.
3. **Pirólisis.** Descomposición térmica polímeros que forman la biomasa dando lugar a la formación de biomasa carbonizada, vapores condensables y gases permanentes.

4. **Carbonización.** Formación de estructuras semigrafíticas características de los materiales con mayor grado de carbonización a $T^a > 800-1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ mediante reacciones de aromatización y condensación.

Se puede priorizar la formación de determinados compuestos de interés en función de los principales parámetros de diseño y operación tales como temperatura, velocidad de calentamiento y tiempo de residencia.

En función de los principales parámetros (Tabla 3-9) de diseño y operación tales como temperatura, velocidad de calentamiento o tiempo de resistencia se puede priorizar la formación de determinados compuestos de interés.

Proceso Aplicación	Rendimiento de productos (% masa)			Condiciones
	Líquido	Carbón	Gas	
Torrefacción	0-5	85-90	10-15	Temperatura muy baja (250-300 °C)
				Velocidad de calentamiento baja (<2 °C/s)
				Tiempo de residencia: elevado (15-60min)
				Atmósfera inerte
Lenta=carbonización (=>carbón)	20-30	30-40	30-40	Temperatura baja (400-700 °C)
				Velocidad de calentamiento baja (<1 °C/s)
				Tiempo de residencia: elevado (5-48h)
				Atmósfera inerte
Rápida (=>bioaceite)	65-75	10-15	10-20	Temperatura moderada (450-550 °C)
				Velocidad de calentamiento rápida (>500° C/s)
				Tiempo de residencia: corto (>2s)
				Atmósfera inerte
Flash	5-10	20-30	60-70	Temperatura elevada (800-1000 °C)
				Velocidad de calentamiento rápida (>10 °C/s)
				Tiempo de residencia: corto (>10s)
				Atmósfera inerte

Tabla 3-9 Tipos de pirólisis.

3.2.2.2 Combustión (caldera de biomasa)

La combustión de la biomasa es el sistema de aprovechamiento más directo. Las calderas de biomasa producen energía térmica mediante la combustión de diferentes tipos de biomasa. La combustión es un proceso que se realiza a una temperatura entre 500 °C y 800 °C, donde la cantidad de oxígeno es en exceso. La biomasa se oxida al completo y se consiguen gases a elevadas temperaturas, de estos gases es de donde se consigue la energía térmica. La biomasa puede ser quemada directamente para la obtención de gases calientes y generación de energía térmica (mediante el intercambio del calor de los gases de combustión con agua) o energía eléctrica (sobrecalentando el agua hasta llegar a vapor, expansión en una turbina y posterior generación de electricidad).

La combustión cuenta con varias etapas:

- **Secado.** Es la etapa donde se evapora la humedad que contiene el material de combustión.
- **Volatilización.** Se libera una gran variedad de productos gaseosos a través de la descomposición del combustible.
- **Descomposición térmica de polímeros.** Descomposición de los polímeros que forman la biomasa lignocelulósica, principalmente a temperaturas entre los 200 °C y los 600 °C.

- **Combustión fracción volátil.** Con aporte suficiente de oxígeno y con una temperatura suficientemente elevada, entran en combustión los compuestos volátiles generados en la etapa de descomposición térmica.
- **Combustión fracción carbonizada.** La fracción carbonizada producida en la etapa pirolítica entra en combustión por reacción con el oxígeno del aire a $T^a > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Existen diferentes tipos de combustión:

- **Combustión completa.** Ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación. En este caso no habrá presencia de sustancias combustibles en los productos o humos de la reacción.
- **Combustión incompleta.** Se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y hay presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción.
- **Combustión estequiométrica.** La combustión se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos debido a que este se ha empleado íntegramente en la reacción.
- **Combustión con exceso de aire.** Reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. La combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. Es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión. La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de aire es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.
- **Combustión con defecto de aire.** Reacción que se produce con una menor cantidad de aire que el mínimo necesario. Presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de reacción.

La biomasa lignocelulósica tiene unas propiedades combustibles que condicionan su aprovechamiento energético. Los principales parámetros físicos, químicos y energéticos caracterizan el comportamiento de este recurso renovable. Dichos parámetros se pueden contemplar en la Tabla 3-10:

Parámetros físicos	Humedad	Cantidad de agua libre contenida en el combustible	
	Densidad másica	Densidad aparente	Cantidad de materia en una unidad bruta de volumen.
		Densidad real	Cantidad de material sin contar espacios interparticulares.
		Densidad absoluta	Cantidad de material sin contar espacios interparticulares ni poros de la partícula.
	Granulometría	Distribución tamaño de partículas de biomasa expresada como % de la masa total de las distintas fracciones.	
Parámetros químicos	Composición elemental	% en masa de elementos químicos de la fracción orgánica de biomasa (C, H, N, O y S).	
	Composición proximal	El análisis inmediato de un combustible sólido representa la proporción de humedad, ceniza o fracción mineral y fracción orgánica (volátiles y carbono fijo).	
	Fracción inorgánica	La fracción mineral tiene un efecto negativo en el comportamiento del combustible.	
Parámetros energéticos	Poder calorífico	Poder calorífico superior (PCS)	Cantidad de calor máxima que puede generar un material al quemarse de forma completa.
		Poder calorífico inferior (PCI)	Cantidad de calor aprovechable que se genera en la combustión.
	Densidad energética	Cantidad de energía por unidad de volumen que contiene un combustible.	

Tabla 3-10 Parámetros que influyen en la combustión.

3.3 Selección de alternativas más viables

3.3.1 Justificación de la elección

Una vez analizadas aquellas opciones de tratamiento planteadas y teniendo en cuenta el tipo y cantidad de residuos generados en la ENM, se ha planteado realizar un estudio en mayor profundidad del compostaje, la digestión anaeróbica y la caldera de biomasa. En dicho estudio se realizarán cálculos que ayudarán a seleccionar aquellas alternativas más viables teniendo en cuenta el caso de estudio, la ENM de Marín.

Tanto para el compostaje como para la digestión anaerobia se contempla el aprovechamiento de los 11.250 kilogramos de materia orgánica anuales generados en la Escuela y unos 1.000 kilogramos más de césped, lo que harían un total de unos 13.250 kg de sustrato disponible. Téngase en cuenta que en la ENM se generan un total de 2.000 kg de podas y césped, asumiendo que el 50% de estos residuos corresponde a césped y el otro 50% a podas se estarían generando anualmente alrededor de 1.000 kg de césped y 1.000 kg de podas.

Por otro lado, la biomasa residual susceptible de ser utilizada como combustible en la caldera de biomasa serían los 1.000 kg de podas citados anteriormente y la madera generada en la Escuela. Si bien del total de los residuos de madera existentes en el Centro una parte de ella procede de la renovación de mobiliario por lo que contendrá barnices que no harán factible su uso en la caldera de biomasa, es por ello que de los 2.000 kg/año se asume que únicamente podrán aprovecharse unos 1.200 kg (el 60%). De manera más visual, los residuos susceptibles de ser utilizados para su aprovechamiento en la propia ENM se presentan en la Figura 3-49:

RESIDUOS URBANOS 2021	Cantidad (kg)	
Residuos orgánicos	11250	➔ COMPOSTAJE
Envases	4500	
Papel y cartón	6000	
Vidrio	1000	
Aceites cocinas	200	
Maderas	2000	➔ CALDERA BIOMASA
Plásticos	300	
Metales	2000	
Podas/césped	2000	➔ 50% COMPOSTAJE 50% CALDERA BIOMASA
TOTAL	30000	

Figura 3-49 Cantidad y tipo de residuos susceptibles de ser tratados en la ENM.

3.3.2 Compostaje

En este tratamiento se ha decidido realizar dos propuestas de instalaciones: la primera de ella sería una planta de compostaje, instalación tradicional con diferentes pilas de material a compostar y la segunda, utilizar contenedores de compostaje donde el compost es producido “*in situ*”, en el mismo contenedor. A continuación, se va a proceder a explicar ambas propuestas.

3.3.2.1 Alternativas propuestas

3.3.2.1.1 Contenedores de compostaje

La empresa REVITALIZA está en proceso de realizar la instalación de diferentes contenedores de este tipo a lo largo de toda la provincia de Pontevedra. Estos contenedores hacen posible el tratamiento de la fracción orgánica “*in situ*” con todas las garantías sanitarias y medioambientales necesarias. La idea de esta propuesta es la inclusión de la ENM en el Plan REVITALIZA de manera que se lleve a

cabo la utilización de contenedores individuales (COIN) para la creación de compost a partir de la materia orgánica generada en el día a día por el personal de la ENM (restos de comida, poso de café, etc) y del césped/hierba resultante de las operaciones de mantenimiento de las áreas verdes que se encuentran en la Escuela.

Además, es importante tener en cuenta que la empresa presta los siguientes servicios en los COIN (en caso de necesitarlos):

- Entrega, montaje y seguimiento de COINs en la ENM.
- Monitoreo de los COINs una vez estén instalados en la ENM.
- Recopilación de COIN instalados en caso de que la ENM decida salir del programa establecido.

La empresa se ofrece a realizar una visita a la ENM para resolver cualquier tipo de duda en relación al proceso de compostaje y se encargan de formar al personal con las acciones mínimas necesarias para un buen funcionamiento (adición de estructurante, agitación, riego, etc.).

Las principales acciones de seguimiento a realizar y registrar en cada COIN son: nivel de llenado de materia, toma de temperatura, comprobación de la humedad del material en proceso y, por último, inspección visual de ausencia de roedores dentro del COIN, exceso de insectos, presencia de olores o cualquier otra molestia observada.

La forma habitual de funcionamiento de este tipo de contenedores es agruparlos por módulos o unidades modulares de compostaje (UMC) ensambladas entre sí, cada una con una capacidad de un metro cúbico. Los módulos se dimensionan en función de los biorresiduos que se van a generar, por lo general, dos líneas de 3 UMC en paralelo o 5 UMC en paralelo como se muestra en la Figura 3-50.



Figura 3-50 5 UMC en paralelo.

El compostaje de biorresiduos en las configuraciones indicadas anteriormente, se basa en un trabajo en tres fases (cada fase se realiza en una UMC diferenciada), tal y como se indica a continuación:

- **Fase I.** Esta fase se desarrolla en los módulos de aportación (módulo en el que el personal de la ENM depositará sus residuos). En este módulo se completa la fase mesófila y comienza la fase termófila.
- **Fase II.** En esta fase se desarrolla en los módulos que se encuentran junto a los módulos de aportación. Aquí continúa la fase termófila (proceso de higienización y desactivación de semillas) y se retoma la nueva fase mesófila con la maduración.

- **Fase III.** Esta fase se desarrolla en los módulos que se encuentran junto a los módulos de Fase II. Continúa el proceso de maduración hasta llegar a un producto estabilizado llamado compost.

El proceso de compostaje requiere diferentes condiciones de agua y oxígeno (por encima de un rango en la relación C/N) en cada una de las fases descritas anteriormente, lo que determina la intensidad de las tareas mínimas a realizar en cada una de ellas.

○ **Modo de funcionamiento:**

Para comprender el modo de funcionamiento seguido en los módulos de compostaje propuesto, se presenta el esquema de la Figura 3-51 que cuenta con un total de 6 UMC.

El proceso comienza vaciando los biorresiduos en el contenedor A1, una vez completado el módulo A1 (alrededor del 80% de la capacidad) se realiza una transferencia de material al módulo A2. Por lo tanto, el módulo A1 está vacío, para que el personal pueda continuar depositando sus biorresiduos. Cuando se llena por segunda vez el módulo de entrada (A1), es necesario mover el material que está en A2 a A3, de forma que ese módulo A2 quede vacío para poder hacer un nuevo traslado de A1 a A2 cuando sea necesario. Cuando se rellene por tercera vez el módulo de alimentación (A1), se tendrá material en todas las UMC. Ahora se tendría compost maduro en el módulo A3, que sería extraído para poder hacer un trasvase de A2 a A3, y un trasvase de A1 a A2.

En este punto, A1 volvería a quedar vacío para recibir los biorresiduos de los participantes y a partir de aquí se trabajaría de forma continua, es decir, los periodos entres lotes de compost extraídos del módulo A3 están marcados por la velocidad de llenado del módulo A1. Cuando el proceso no ha finalizado en A3, en vez de vaciarlo se cierra y se abre B1 para poder aportar ahí los residuos hasta que finalice el proceso de A3.

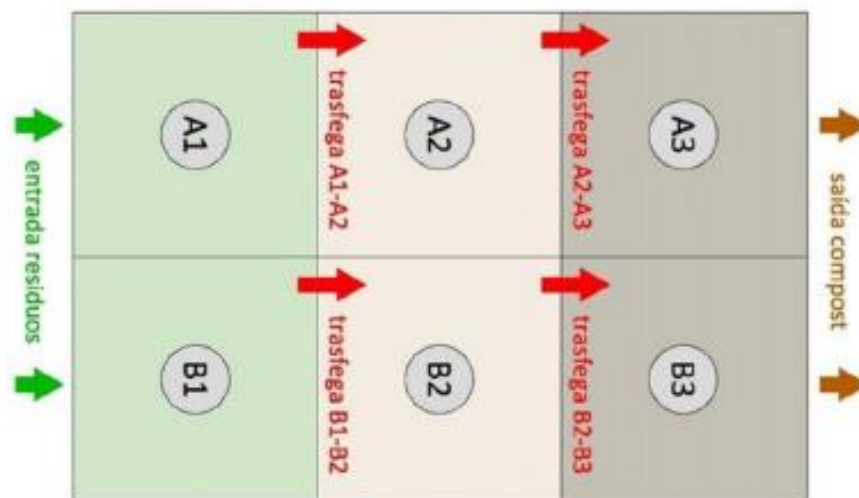


Figura 3-51 Proceso para 6 UMC [36].

Para los sistemas que cuentan con 10 UMC (Figura 3-52) el proceso es similar al explicado anteriormente, una vez llenado un módulo de aporte (A1) se cierra y se abre el módulo que se encuentra en el extremo opuesto de la línea (A5). En este tipo de configuración el material en proceso se traslada desde los módulos de entrada al módulo central (A3 o B3) donde finaliza el proceso de maduración. Dependiendo de la cantidad de residuos aportados diariamente, puede interesar tener abiertos dos módulos de aportación y alternar las aportaciones en cada uno de ellos.

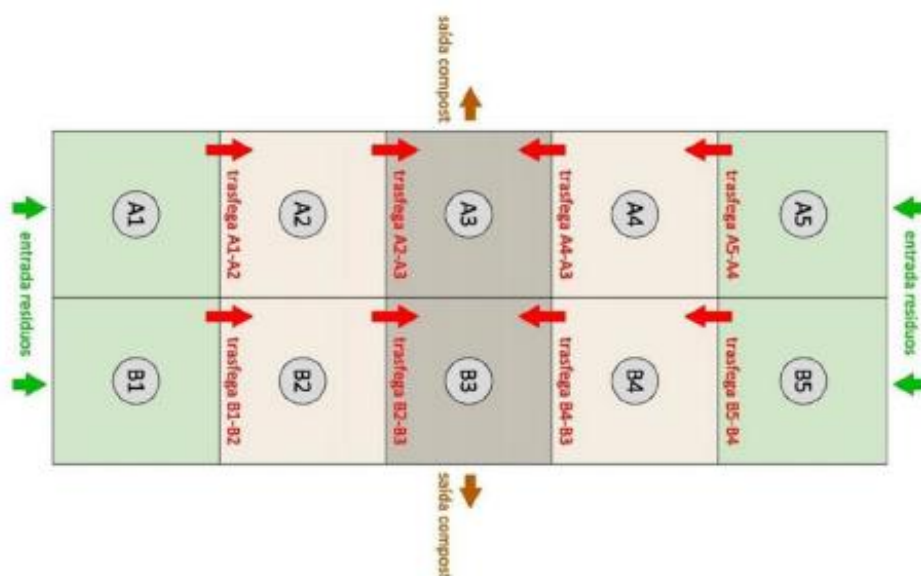


Figura 3-52 Proceso para 10 UMC [36].

Para asegurarse que el proceso se realiza de la forma correcta se deben realizar unas tareas mínimas:

- **Contribución.** Se requiere la realización de estas tareas como mínimo dos veces por semana: ajuste de temperatura y nivel de llenado, incorporación de material hasta una profundidad de 40 cm y cubrir con una ligera capa de material complementario, en caso de estar excesivamente seco o húmedo, ajustar la humedad del material en el proceso y, por último, sólo se tomarán datos de temperatura en los módulos de alimentación cerrados.
- **Saneamiento.** Tareas mínimas a realizar: se tomarán temperaturas y nivel de llenado, así como posibles incidencias y, la velocidad de llenado del módulo de suministro está determinada por el nivel de degradación del material en esta etapa, lo que determinará el riesgo necesario, en principio, sólo se removerá cuando se considere necesario.
- **Maduración.** Las tareas mínimas: se tomarán medidas de temperatura y nivel de llenado, así como posibles incidencias, no debería ser necesario realizar ningún volteo.

Los UMC deben tener diferentes características para que el proceso se efectúe de forma correcta y sin incidencias: las paredes están compuestas por baldas de 10 cm de tal manera que se puedan quitar para recoger la materia de su interior con más facilidad y así poder medir de manera sencilla la cantidad de residuo que contiene. Están fabricados de plástico, son resistentes a temperaturas de 75° C, el grosor es suficiente para aguantar la estabilidad estructural, la capa metálica de refuerzo es inoxidable y se garantiza que la única salida de lixiviado se realiza únicamente por su base.

En la Escuela Naval Militar se generan alrededor de 11.250 kg de residuos orgánicos y 1.000 kg de césped, estos residuos equivalen a un volumen de 29 m³, lo que significa que se generan aproximadamente 2,4 m³ al mes. Cada fase de compostaje en cada UMC dura alrededor de un mes, es por ello que en un mes se rellenarían 4 UMC debido a que tienen una capacidad de 1 m³ y se rellenan con una proporción de 1:1 entre residuos orgánicos y estructurante (serrín, viruta, etc. que proporciona la empresa REVITALIZA). Para la ENM sería suficiente con la instalación de 10 UMC encontrándose 5 UMC en paralelo con otros 5. Los contenedores se instalarían en la cara sur del cuartel Marqués de la Victoria debido a que es donde se encuentra la cocina de alumnos de la ENM, siendo el punto de mayor generación de residuos orgánicos del recinto. La explanada destinada a la ubicación de estos contenedores de compost cuenta con una superficie libre de 36 m², por lo que se dispondría de espacio más que suficiente para albergar la configuración de contenedores propuesta (Figura 3-53).



Figura 3-53 Ubicación de contenedores de compostaje.

A continuación, se muestra en la Figura 3-54, a modo de ejemplo, diferentes fotografías de algunas de las UMC ubicadas en la ciudad de Pontevedra, cuyas características serían idénticas a las propuestas para la ENM de Marín.



(a)



(b)

Figura 3-54 Contenedores de compostaje a) estructural y b) residuos orgánicos en Fase I.

3.3.2.1.2 Planta de compostaje

La planta de compostaje que se propone para instalar en la Escuela Naval Militar debe tener dos pilas de 4 metros de largo y 1 m² de sección. Esto se ha decidido en función del volumen de residuos orgánicos y césped disponible para su compostaje. Teniendo en cuenta que se producen unos 11.250 kg de residuos orgánicos y 1.000 kg de césped, lo cual equivale a aproximadamente a 29 m³/año. Es por ello que se ha decidido proponer la instalación de dos pilas de 4 m³, lo cual equivale a 8 m³ en total, lo que supone una instalación de 30 m² teniendo en cuenta la separación de pilas de 1m. Este cálculo se ha realizado teniendo en cuenta que el proceso de compostaje dura alrededor de tres meses.

Las dos pilas se instalarían en la zona de aprovisionamiento junto al Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior (CASI). Las pilas deben estar separadas entre sí 2 m para facilitar la aireación y la maniobra de volteo.

○ Cálculos de la mezcla óptima

Para realizar de manera adecuada el proceso de compostaje es importante determinar las proporciones de materia orgánica y césped necesarias para tener una mezcla con relación Carbono/Nitrógeno óptima (C/N). Tal y como se comentó en apartados anteriores del presente trabajo, la relación C/N óptima es de 30/1. Por lo tanto, todo valor cercano se considera correcto para realizar el proceso.

Para poder efectuar los cálculos es necesario conocer, además de las masas ya mencionadas de ambos residuos, las relaciones de C/N tanto de los residuos orgánicos como del césped, los cuales vienen definidos en la Tabla 3-11.

Relación C/N en varias materias		
Material		C/N
Residuos de comida		34,8
Estiércol	Vaca	18
	Cerdo	20
	Aves	15
	Oveja	22
Fangos activados	Digeridos	15,17
	Crudos	6,3
Madera y paja	Serrín	200
	Paja	128
	Madera	723
Papel	Mezclado	173
	Periódico	983
	Revistas	470
Residuos de jardín	Césped	20,1
	Hojas caídas	40-80
Biomasa	General	20,9

Tabla 3-11 Relaciones C/N [35].

De acuerdo con estos valores, la materia orgánica presentaría una relación C/N de 34,8/1 mientras que el césped muestra una relación de 20,1/1.

Teniendo en cuenta que es importante lograr una buena relación de C/N para iniciar el proceso de compostaje y así favorecer el desarrollo de microorganismos, facilitar el proceso de descomposición y conseguir un producto final de calidad, en este ensayo se han estimado las proporciones de las biomásas a compostar para conseguir una relación próxima a 30/1. Relación óptima si se tiene en cuenta que en la fase inicial de compostaje los microorganismos consumen entre un 15% y un 30% más de carbono que de nitrógeno.

Los cálculos realizados para determinar la cantidad adecuada de cada una de las biomásas han sido los siguientes: se ha calculado la relación de C/N con las cantidades totales de los residuos que se tiene en la ENM con la siguiente fórmula.

$$Relación(C/N)_{final} = \frac{Mo * \left(\frac{C}{N}\right)_o + Mc * \left(\frac{C}{N}\right)_c}{Mo + Mc}$$

Relación (C/N) final	➔ relación de C/N final de la mezcla
Mo	➔ masa total de materia orgánica
(C/N) _o	➔ relación C/N de la materia orgánica
Mb	➔ masa total de césped
(C/N) _c	➔ relación C/N del césped

$$Relación\left(\frac{C}{N}\right)_{final} = \frac{11250 * \left(\frac{34,8}{1}\right) + 1000 * \left(\frac{20,1}{1}\right)}{11250 + 1000} = 33,6$$

Con los datos de la ENM se obtiene un resultado de relación de C/N de 33,6 por lo tanto se considera una relación correcta para el proceso de compostaje.

3.3.2.2 Utilidad en la ENM

La ENM genera grandes cantidades de residuos orgánicos lo cual implicará la obtención de grandes cantidades de compost. Los principales beneficios derivados de la implantación de una planta de compostaje/contenedores de compostaje sería el aprovechamiento de parte de ese compost como fertilizante que podría ser utilizado en los diferentes jardines o áreas verdes disponibles en la Escuela, así como el proporcionar una imagen de compromiso claro con el medioambiente al implicarse en el tratamiento y gestión de parte de los residuos generados en sus dependencias. Por otro lado, parte de este compost podría ser cedido al Ayuntamiento de Marín (colindante a la Escuela) puesto que cuenta con numerosas áreas verdes en los alrededores.

3.3.2.3 Ubicación de las instalaciones

La propuesta de ubicaciones para las 2 alternativas propuestas, la planta de compostaje y los contenedores de compostaje, vienen representados en la Figura 3-55. El requisito principal que se ha utilizado para seleccionar las posibles ubicaciones ha sido la cercanía a las cocinas de la Escuela Naval Militar, principal punto generador de los residuos utilizados en este tratamiento, lo que permitiría reducir la distancia que hay que recorrer desde el punto de generación hasta el punto de tratamiento. De igual manera se ha tenido en cuenta el espacio libre disponible en dichas ubicaciones y las dimensiones de las instalaciones a implantar.

Ha de tenerse en cuenta que en el caso de la planta de compostaje esta deberá alojarse bajo techo, impidiendo que la lluvia pueda caer sobre las pilas y arrastrar parte del material destinado a compostar. A su vez, la zona elegida debe contar con un suelo firme y debidamente impermeabilizado para impedir la posible filtración de lixiviados al terreno.

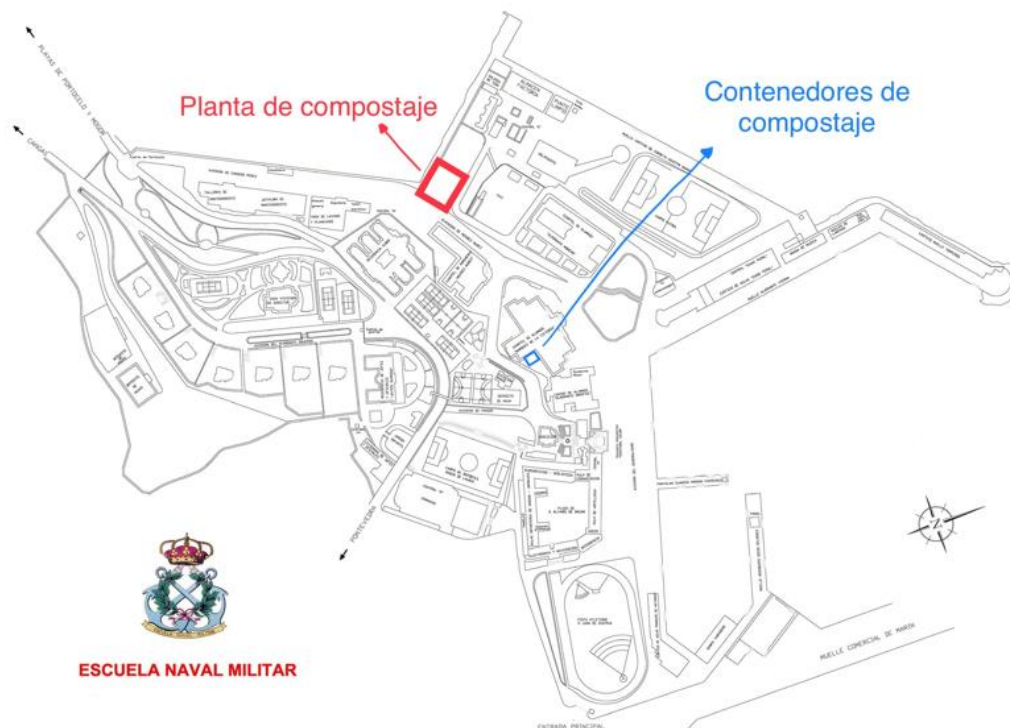


Figura 3-55 Ubicaciones de propuesta de compostaje.

3.3.2.4 Análisis económico

A continuación, se presenta una evaluación económica de las dos alternativas existentes para llevar a cabo el compostaje de los residuos orgánicos y césped existentes en la Escuela.

3.3.2.4.1 Planta de compostaje

Los principales costes que produce la instalación de una planta de compostaje son el montaje de las pilas, puesto que se requiere un previo conocimiento de la ejecución y el volteo de las mismas. El montaje de las pilas se realizaría cada 3 meses aproximadamente, ya que es el tiempo necesario para obtener un compost de calidad. En el siguiente presupuesto (Tabla 3-12) se presenta el coste de la instalación de las dos pilas cada tres meses. También se muestra el precio del volteo, este coste viene definido por el coste del uso de un tractor, siendo este 40€/h.

PARÁMETRO/OPERACIÓN	COSTE
Cantidad (kg)	1500*
Montar Pilas	2 pilas x 10 €/pila = 20 €/3 meses
Volteo (1 por semana, 40€/h y 12 semanas)	0,15h/pila x 2 pilas x 40€/h x 12 sem. = 144€/3 meses
Transporte del tractor (60€/h)**	60x0,5= 30€
Suelo impermeabilizado (20€/m ²)	20 x 30=600€
Coste total	194 €/3 meses

*12250 kg residuos/año → 3062 kg/3 meses → 2 pilas de 1500 kg/pila

**Necesario transporte del tractor hasta las instalaciones de la ENM.

Tabla 3-12 Presupuesto planta de compostaje [35].

De acuerdo con el estudio realizado, la instalación de una sencilla planta de compostaje tendría un coste anual estimado de 776 € más la inversión inicial de 600€ para impermeabilizar el suelo.

3.3.2.4.2 Contenedores de compostaje

Los contenedores de compostaje tienen únicamente un coste de instalación puesto que una vez instalados no habrá coste alguno. El propio personal de la ENM dedicado al mantenimiento de las áreas verdes será el encargado de remover el contenido de los contenedores y comprobaran la humedad y temperatura de acuerdo a las indicaciones recibidas por la empresa REVITALIZA. La citada empresa será la encargada de impartir una pequeña formación a todos los usuarios alojados en la Escuela Naval, así como al personal dedicado al mantenimiento de las zonas verdes y que, por tanto, será el encargado de la operatividad del sistema de compostaje propuesto.

El presupuesto que contempla la instalación de un total de 10 contenedores es el expuesto en la Tabla 3-13, el cual incluye el suministro, transporte e instalación de los diferentes módulos donde tendrá lugar la obtención del compost.

Instalación	Cantidad	Precio unidad	Precio total
UMC (unidad modular de compostaje)	10	575€	5.750€

Tabla 3-13 Presupuesto contenedores de compostaje [36].

Este presupuesto se refiere a contenedores modulares de 1 m³ de capacidad de alta calidad existiendo otras opciones comerciales de importe inferior al aquí propuesto, si bien se realiza esta

propuesta por ser la implementada en diferentes municipios de la provincia de Pontevedra y con resultados satisfactorios en cuanto a la calidad del compost propuesto.

3.3.3 Digestión anaeróbica

Se propone la instalación de un reactor anaeróbico para la producción de biogás con el objetivo de ser utilizado como combustible para la producción de energía eléctrica en la propia Escuela Naval Militar. Para comprobar la viabilidad del tratamiento se van a realizar, en primer lugar, unos cálculos estimados del volumen del digestor, el volumen del gasómetro y la energía que podría producirse a partir de los 11.250 kg de residuos orgánicos y 1.000 kg de césped generados en el Centro. Posteriormente, se evaluarían los posibles usos que se le podría dar al biogás y, por último, se va a hacer un análisis económico.

3.3.3.1 Cálculos volumen digestor

En la digestión anaeróbica se pretende utilizar la materia orgánica (Mo) que se genera en la ENM (11.250 kg/año) y el césped (Mb=1.000 kg/año) para producir biogás, siendo 12.250 kg la masa total de esta mezcla (Mt).

En la práctica, antes de ser alimentada al digestor la materia orgánica se debe mezclar con agua. Para que la digestión anaerobia funcione correctamente, la cantidad de sólidos totales (ST) no debe ser superior al 14%, siendo lo recomendable valores entre el 7% y el 12%. Dado que los restos utilizados para llevar a cabo este proceso son predominantemente restos de comida, cuyo contenido en ST está en torno al 25-30%, es decir, tendrían un contenido próximo al doble de lo recomendado, la mezcla adecuada sería, de manera aproximada, mitad residuos-mitad agua, o lo que es lo mismo, relación 1:1.

Para la realización de los cálculos se estima una densidad de la mezcla de alimentación de 1000 kg/m³, un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 30 días, un poder calorífico del biogás de 23.000 kJ/m³ (PC_{biogás}) y un factor de seguridad (Fs) de 1,3.

$$Mt_{disponible} = 12250 \frac{kg}{año} \frac{1 año}{12 meses} = 1020 \frac{kg}{mes} = 34 \frac{kg}{día}$$

De esos 34 kg/día, 31,25 kg/día serían de residuos orgánicos y 2,7 kg/día de césped.

$$\text{Cantidad alimentación diaria digestor (Mf)} = Mt + \text{Magua} = 34 kg + 34 kg = 68 kg$$

$$\text{Volumen alimentado diariamente al digestor (Vf)} = 68 kg * \frac{m^3}{1000 kg} = 0,068 m^3$$

$$\text{Volumen digestor (Vd)} = TRH * Fs * Vf = 30 días * 1,3 * 0,068 m^3 = 2,7 m^3$$

Producción de biogás al día (Pg) =

$$0,03125 t * 45 \frac{m^3 biogás}{t} + 0,0027 t * 110 \frac{m^3 biogás}{t} = 1,4 m^3 + 0,3 m^3 = 1,7 m^3$$

$$\text{Volumen gasómetro (Vg)} \approx 2 m^3$$

$$\text{Energía producida (Ep)} = Pg * PC_{biogás} = 1,7 \frac{m^3 biogás}{día} * 23000 \frac{kJ}{m^3} = 39.100 \frac{kJ}{día}$$

Con estos resultados se puede apreciar cómo se obtiene un volumen de digestor proporcional al nivel de generación de residuos de la Escuela Naval Militar, es por ello que se obtiene una producción de biogás al día razonable.

3.3.3.2 Utilidad del biogás obtenido

Existen diferentes opciones de utilización del biogás obtenido. Dentro de las opciones destacan la producción de calor, la generación de electricidad o el ser utilizado como combustible en vehículos. Se van a explicar brevemente estos procesos para comprobar cuál sería el más factible:

- **Producción de calor o vapor.** El uso más simple es para obtener energía térmica. Los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar energía calorífica para actividades básicas como la cocina o para calentar agua. Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar para ser utilizados con biogás, únicamente se cambiaría la relación aire-gas. Para utilizarlo en quemadores no es necesario tener gran calidad de este.
- **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad.** Las turbinas de gas se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido de chispa y con un bajo mantenimiento, pero serían necesarias grandes cantidades de gas. Una aplicación más humilde sería el uso del biogás en pequeños generadores mixtos gasolina/propano.
- **Combustible para vehículos.** El uso del biogás en vehículos es posible y se ha empleado desde hace tiempo. Para poder utilizarlo, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural. Estos vehículos cuentan con un depósito de gas y un sistema de suministro, además del sistema de gasolina normal.

Para poder utilizar el biogás en este tipo de aplicaciones, este debe ser limpiado y purificado eliminando parte las impurezas existentes en la mezcla gaseosa que forma parte de su composición. Esto supondría un incremento de su poder calorífico pero un coste considerable. Con independencia de esto, en la ENM los dos usos más viables serían la producción de energía eléctrica y la producción de calor, debido a que los vehículos que se encuentran en la Escuela no están adaptados para el uso con gas, siendo todos de combustión.

3.3.3.3 Análisis económico

Pese a que no han resultados volúmenes excesivos para el reactor o el gasómetro, para llevar a cabo la producción de biogás sería necesario montar una pequeña planta, no únicamente adquirir un reactor anaerobio donde tendría lugar la generación de biogás sino también un gasómetro donde almacenar el gas combustible, demás elementos auxiliares y la automatización de la planta. A mayores de esto, sería necesario contar con personal cualificado que llevase a cabo la operatividad de la planta, no existiendo a día de hoy, ninguna persona con los conocimientos suficientes para poder operar una pequeña planta de este tipo. Es por ello que se ha decidido descartar esta alternativa de tratamiento y utilizar los residuos orgánicos y restos de hierba únicamente para la generación de compost.

3.3.4 Caldera de biomasa

Para realizar la selección del tipo de caldera de biomasa y de la potencia de la misma se han evaluado diferentes alternativas tales como la sustitución de alguna de las calderas ya existentes en la ENM o la instalación de una nueva caldera para dar suministro de calefacción a una zona que actualmente no cuenta con ella. Por otro lado, se ha calculado la cantidad de energía que podrían producir los residuos de madera y las podas disponibles en la Escuela y, por último, se ha estudiado la viabilidad económica de la propuesta.

Ha de tenerse en cuenta que para el uso de una caldera de biomasa en la ENM sería necesario la adecuación de las materias primas para ser utilizadas como combustible en dicha caldera, la realización de este pretratamiento pasa por la trituración previa de la madera y de las pequeñas ramas resultantes de las podas lo que permitirá convertir los citados residuos en astilla apta para su combustión. Así, se ha procedido a seleccionar una trituradora eléctrica cuyas principales características aparecen representadas en la Figura 3-56.



Figura 3-56 Características de la trituradora seleccionada [37].

3.3.4.1 Finalidad del calor generado

La energía térmica generada durante la combustión podría tener diferentes aplicaciones entre las que destacan:

- **Aprovechamiento térmico.** Los gases resultantes de la combustión circulan a través de un intercambiador de calor, permitiendo la transferencia de energía calorífica del gas al agua circulante de la caldera. El resultado es la generación de agua caliente para uso sanitario y/o para calefacción.
- **Generación eléctrica.** Parte de la generación de vapor a elevada temperatura y presión a partir del contacto del gas de combustión con tubos de agua circulante. En la turbina, la expansión del vapor a través de las hélices genera energía mecánica. El movimiento circular acciona un alternador que genera la corriente eléctrica.
- **Cogeneración.** La cogeneración consiste en la generación de energía térmica y eléctrica a partir de un mismo combustible

En el caso concreto de la ENM, el uso más razonable es el aprovechamiento térmico, destinando el calor aportado durante la combustión para el suministro de calefacción a alguna o algunas de las dependencias existentes en el Centro.

3.3.4.2 Cálculos potencia

La Escuela Naval cuenta con diferentes calderas, muchas de ellas con cierta antigüedad y ninguna de ellas de biomasa, situadas en diferentes ubicaciones que permiten el suministro de calefacción a distintas estancias y dependencias existentes en el complejo. Por ello que, primeramente, se ha procedido a identificar cada una de ellas, así como su potencia para evaluar si sería viable la sustitución de alguna o, en su defecto, la instalación de una nueva caldera de biomasa en alguna de las dependencias que presente necesidades térmicas. Esta identificación aparece recogida en la Tabla 3-14.

ZONA	AÑO INST	POTENCIA (kW)	SERVICIO
PISCINA	/	92,9	piscina
PATIO DE AULAS	2000	581,5	calefacción
CUARTEL MARQUÉS DE LA VICTORIA	2020	275 y 450	calefacción
EDIFICIO DIRECCIÓN	2005	15-60	calefacción
COMISIÓN NAVAL DE REGATAS (C.N.R.)	1991	152	calefacción
CUARTEL MÉNDEZ NÚÑEZ	1993	446,94	calefacción
CUARTEL FRANCISCO MORENO	2005	580	calefacción
CEMEDEN	2009	37,2	calefacción
LAVANDERÍA	2008	1345	calefacción
LANCHAS DE INSTRUCCIÓN	2004	593	calefacción
ISAAC PERAL	2009	429	calefacción
IMPRENTA	2009	53,3	calefacción
CHALET 1 AL 7	2008	53	calefacción

Tabla 3-14 Calderas destinadas a calefacción en la ENM.

Únicamente se han estudiado aquellas calderas destinadas a calefacción debido a que las calderas de biomasa destinadas a la producción de agua caliente sanitaria (ACS) suelen ser, por lo general, de pellet y en este caso concreto, se busca la instalación de una caldera que admita astillas pudiendo dar así salida a los residuos biomásicos producidos en la ENM.

Antes de realizar la selección, se va a calcular la energía que podrían generar los residuos procedentes de la Escuela. Para ello es necesario conocer las cantidades de madera y podas (M_{madera} y M_{podas}) y el poder calorífico inferior (PCI) de cada uno de ellos. Cabe destacar que en este cálculo se ha empleado únicamente un 60% de la madera generada en el Centro ya que, como se comentó anteriormente, se ha estimado que el 40% restante contiene barnices propios del mobiliario de donde proceden, los cuales podrían ocasionar problemas a la hora de su combustión. Por tanto, los datos de partida son los siguientes, donde los valores de PCI han sido extraídos del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España):

$$PCI_{madera} = 4,41 \text{ kWh/kg}$$

$$PCI_{podas} = 4,36 \text{ kWh/kg}$$

$$M_{madera} = 1.200 \text{ kg/año}$$

$$M_{podas} = 1.000 \text{ kg/año}$$

$$\begin{aligned} \text{Energía producida por la madera } (E_{madera}) &= PCI_{madera} * M_{madera} = 4,41 * 1200 \\ &= 5.292 \text{ kWh/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energía producida por las podas } (E_{podas}) &= PCI_{podas} * M_{podas} = 4,36 * 1000 \\ &= 4.360 \text{ kWh/año} \end{aligned}$$

$$\text{Energía producida total } (E_{total}) = E_{madera} + E_{podas} = 9.652 \text{ kWh/año}$$

A continuación, con los resultados obtenidos se va a proceder a calcular la superficie que se podría calentar con esta cantidad de combustible. Para realizar este cálculo se hace una estimación de necesidades térmicas de calefacción de 100W/m^2 y se estima un uso de dicha caldera de seis meses al año y doce horas al día.

$$\text{Tiempo de uso } (t_{uso}) = 12 \frac{h}{día} * 30 \frac{días}{mes} * 6 \frac{meses}{año} = 2.160 \frac{h}{año}$$

$$\text{Potencia producida } (Pp) = 9.652 \frac{kWh}{año} * \frac{año}{2160h} = 4,47kW \approx 5kW$$

$$\text{Superficie calefactable } (Sc) = \frac{5kW}{0,100 \frac{kW}{m^2}} = 50m^2$$

Estos resultados indican que aquellos residuos procedentes de maderas y podas existentes en la ENM servirían para calentar una estancia de unos 50 m².

En base a estos resultados y teniendo en cuenta la potencia de las calderas actualmente instaladas en la Escuela, se descartaría la sustitución de aquellas de mayor potencia, aunque presenten una mayor antigüedad como es el caso de la de C.N.R. (1991), la del cuartel Méndez Núñez (1993) o incluso la del Patio de aulas (2000), puesto que la cantidad de combustible generado sería muy pequeña en comparación con los requerimientos reales, haciendo necesaria la compra de una gran cantidad de biomasa comercial lo que conllevaría a periodos muy largos para la recuperación de la inversión necesaria.

Por otro lado, en lo referente a las calderas instaladas de menor potencia, como puede ser el caso de la imprenta, la de los chalets del 1 al 7 o el edificio de Dirección son calderas con poca antigüedad (2005-2009), un buen funcionamiento hasta la fecha y un uso menos intensivo que las calderas de mayor potencia. Es por ello, que se decide descartar la sustitución de una de las calderas de gasóleo existentes por una de biomasa, proponiendo la instalación de una nueva caldera de biomasa para dar servicio de calefacción a una zona que no se encuentra actualmente calefactada pero que sí tendría necesidades de estarlo. Tras visitar y analizar numerosas estancias del complejo, se propone la instalación de la nueva caldera de biomasa para dar servicio de calefacción al vestuario de Oficiales de las instalaciones deportivas, ubicado en el gimnasio de las mismas. Este vestuario tiene unas dimensiones totales de 51,9 m², por lo tanto, sería una opción idónea para dicha instalación.

Según los cálculos realizados anteriormente, con la energía producida por los residuos biomásicos citados, se conseguiría dar servicio de calefacción al vestuario de Oficiales durante todo el año sin necesidad de añadir ningún suplemento de combustible. La ubicación de este vestuario se muestra en la Figura 3-57.



Figura 3-57 Ubicación vestuario de la caldera de biomasa (vestuario de Oficiales).

De acuerdo a los cálculos presentados, sería suficiente con la instalación de una caldera de 5 kW si bien pensando en un futuro y dado que en locales colindantes se encuentran otros vestuarios como el de alumnos o mujeres que tampoco disponen de sistema de calefacción, se propone la instalación de una caldera de astillas de la empresa Hargassner, marca puntera en calderas de biomasa, que cuenta con una potencia de 20 kW y un rendimiento superior al 90%. Esta solución permitiría dar servicio no sólo al citado vestuario sino también a otros 3 vestuarios de similares características. El modelo comercial propuesto sería el ECO-HK 20 kW cuya imagen se presenta en la Figura 3-58 y cuyas especificaciones técnicas se pueden encontrar en el Anexo I del presente trabajo.



Figura 3-58 Caldera Hargassner ECO-HK 20 kW. Fuente: Hargassner.

Las diferentes partes que integran esta caldera se pueden observar en la figura que sigue (Figura 3-59) en la que también se detallan los novedosos e innovadores sistemas con los que cuenta esta tecnología perteneciente al grupo Hargassner y que permiten que la combustión se realice de una manera eficiente. Destacar también que este equipo ha sido seleccionado, entre otros motivos, por admitir astillas que, en caso de tener que comprarlas es uno de los combustibles biomásicos más económicos del mercado.

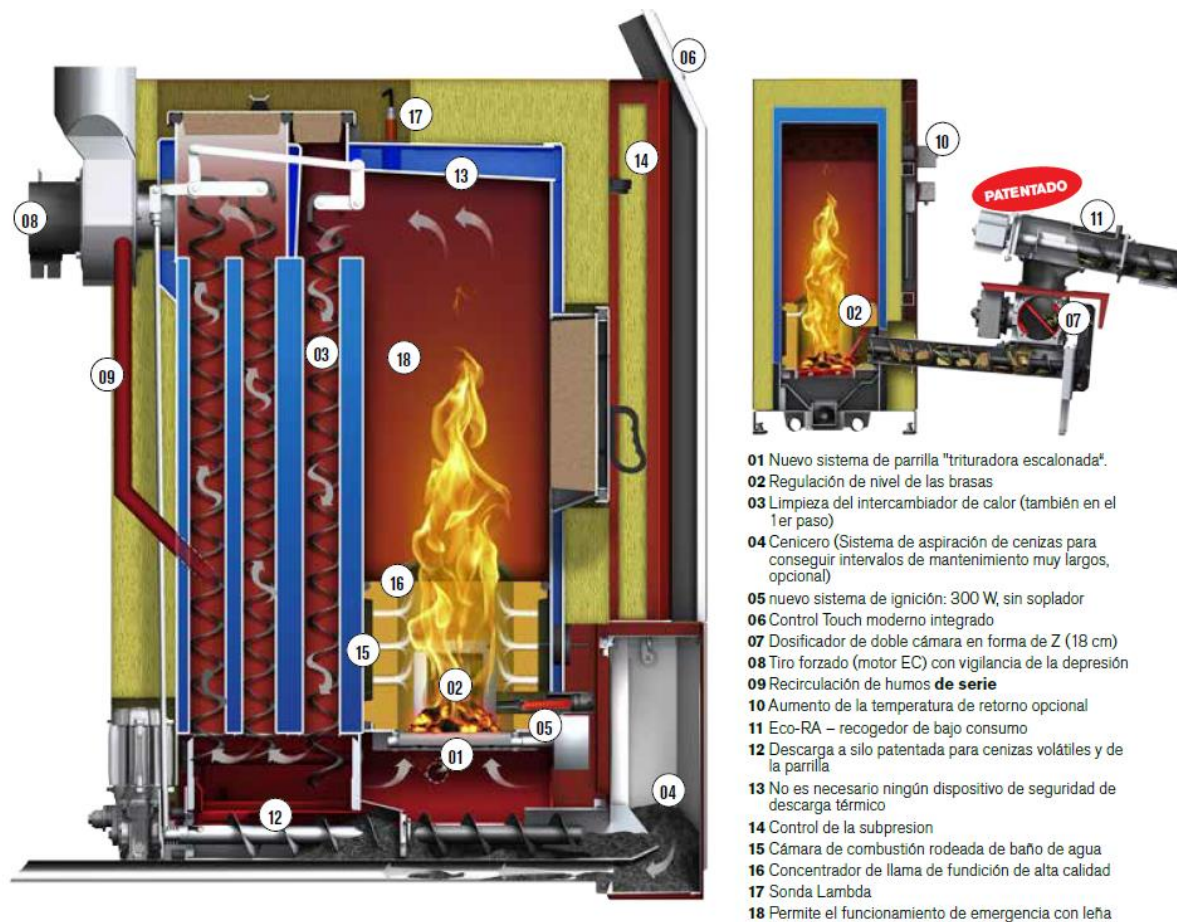


Figura 3-59 Partes y dispositivos de la caldera Hargassner ECO-HK 20 kW. Fuente: Hargassner.

Por otro lado, también se ha dimensionado el silo de biomasa. El silo será el depósito de almacenamiento de la astilla que dará suministro a la caldera de manera automatizada a media que esta lo demande.

$$\text{Densidad}_{\text{astillas}}(D_{\text{astillas}}) = 225 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen combustible anual } (V_{\text{combustible}}) = \frac{M_{\text{total}}}{D_{\text{astillas}}} = \frac{2200 \text{ kg}}{225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 9,78 \text{ m}^3$$

De tal manera que, si se pretendiese almacenar la biomasa generada durante un año en la ENM una vez triturada, para dar servicio de calefacción durante el año siguiente, sería necesaria la instalación de un silo de 10 m^3 . Si bien podría instalarse un silo más pequeño que permitiese el almacenamiento de la biomasa producida durante 6 meses de manera que dicha capacidad se vería reducida a la mitad, es decir, 5 m^3 . En función de la ubicación de este silo y, en caso de no existir espacio suficiente, se podría disponer de un silo de menor capacidad, si bien el volumen de este debería ser, como mínimo, el necesario para cubrir 2 semanas de suministro tal y como indica el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE). En este caso, se debería dotar a la ENM de un silo comercial de 1 m^3 de capacidad tal y como se detalla en los cálculos que siguen:

$$6 \frac{\text{meses funcionamiento}}{\text{año}} \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} = \frac{24 \text{ semanas}}{\text{año}}$$

$$\text{Cantidad combustible semanal} = \frac{2200 \text{ kg}}{24 \text{ semanas}} = 91,67 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

$$\text{Volumen minimo } (V_{\min}) = \frac{91,67 \text{ kg} * 2 \text{ semanas}}{225 \text{ kg/m}^3} = 0,81 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ m}^3$$

3.3.4.3 Análisis económico

Finalmente, tras seleccionar la caldera Hargassner ECO-HK 20 kW para dotar de calefacción al vestuario de Oficiales situado en las instalaciones deportivas de la ENM, se ha realizado un análisis económico de la opción planteada. En la Tabla 3-15 se presenta el presupuesto correspondiente a la opción planteada que incluye el coste de esta caldera, de los radiadores, así como el transporte y la instalación de ambos.

Instalación	Unidades	Precio (€)
Caldera de astilla y pellet Eco-HK	1	20.980
RA 200 para ECO-HK	1	4.625
Transporte de caldera	1	840
Puesta en marcha	1	500
Total		26.945

Tabla 3-15 Coste caldera de astillas [38].

El coste de la solución propuesta asciende a un importe aproximado de 27.000 €. De tal manera que, una vez realizada la inversión inicial, gracias al combustible generado en la Escuela Naval Militar, no sería necesario comprar combustible o, en caso de que algún año la generación de residuos biomásicos fuese inferior, sería mínima la cantidad de combustible a adquirir, siendo la astilla uno de los que presenta menores costes en el mercado.

Tal y como se comentó anteriormente, y puesto que los residuos biomásicos necesitan un proceso previo de trituración para ser utilizados como combustible en la caldera, se ha presupuestado la compra de una trituradora que permita convertir la madera y las ramas existentes en astilla válida para ser combustionada en la caldera de biomasa seleccionada. El presupuesto de dicha trituradora se presenta en la Tabla 3-16.

Unidad	Coste
Biotrituradora con motor eléctrico Ceccato Olindo Tritone Monster Electric- Trifásico- 12.5 HP	4.246,46€

Tabla 3-16 Coste de trituradora [36].

Por tanto, la solución propuesta en este apartado ascendería a un total aproximado de 31.200 €, de manera que una vez realizada esta inversión inicial únicamente se tendría el gasto de mantenimiento asociado a este tipo de calderas y cuyo importe oscilaría entre los 100 € y 200 € anuales.

3.3.5 Conocimiento personal ENM

Para finalizar, y con el objetivo de conocer la opinión del personal que usa las instalaciones de la Escuela Naval Militar de Marín se ha elaborado y distribuido entre dicho personal una encuesta referente a la gestión de residuos realizada en el Centro y el grado de compromiso con el cuidado del

medioambiente. A continuación, se muestran las diferentes preguntas planteadas, así como las respuestas obtenidas.

En esta primera pregunta “¿Consideran que la ENM está involucrada con el cuidado del medioambiente?” (Figura 3-60) se puede observar como el personal considera que la ENM está poco involucrada, esto favorece a la propuesta realizada de un método de tratamiento de residuos.

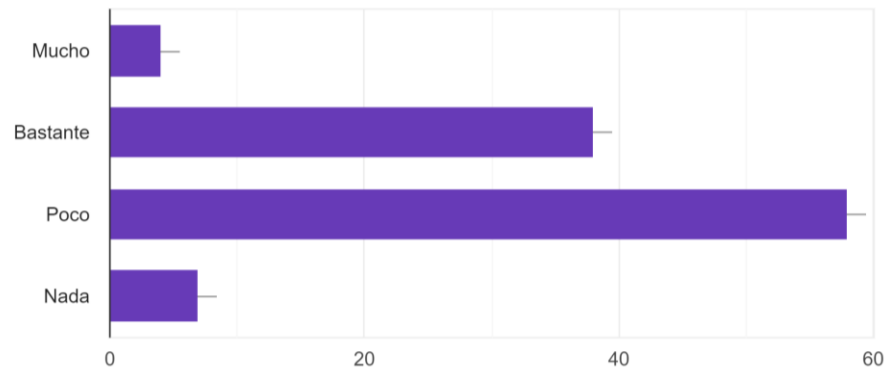


Figura 3-60 ENM involucrada con el medioambiente.

Enlazando con la anterior pregunta, se preguntó “¿Cree que el personal de la ENM está concienciado con el medioambiente?” de manera que la respuesta mayoritaria ha sido “poco” (véase Figura 3-61). Esta opinión puede deberse a la falta de concienciación del personal, razón por la cual se plantea la siguiente pregunta de la encuesta.

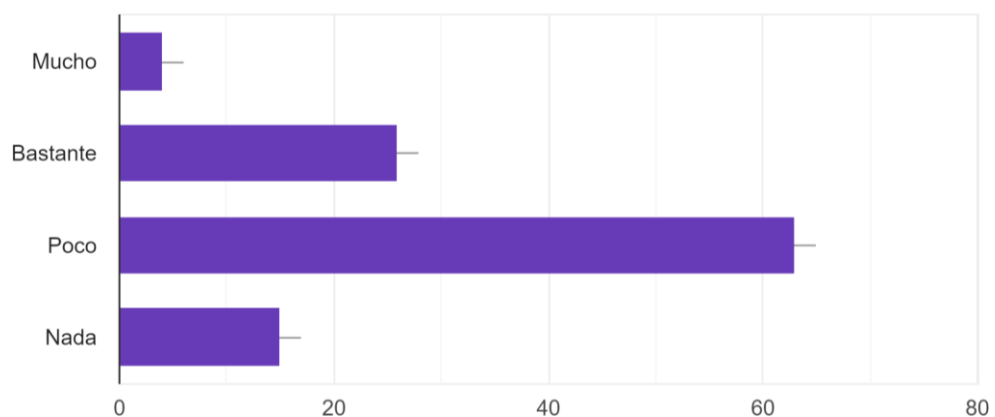


Figura 3-61 Consciencia del personal ENM.

Al hilo de la anterior pregunta, se planteó la siguiente cuestión: “¿Ha recibido alguna vez una charla de concienciación al respecto?” (véase Figura 3-62). En este caso, alrededor del 80% de los encuestados han respondido que no. Esta respuesta permite confirmar que la falta de concienciación por parte del personal de la ENM puede ser debido, entre otras cosas, a no haberles transmitido la importancia del cuidado al medioambiente y las herramientas que están al alcance para contribuir a ella.

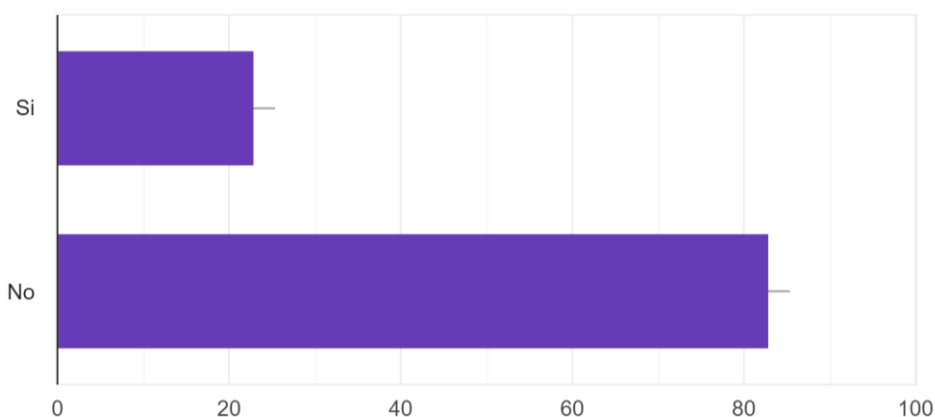


Figura 3-62 Charla medioambiente.

Pese a la falta de conocimiento del personal y la carencia de oportunidades de adquirirlos, se observa que el personal de la Escuela Naval Militar tiene un especial interés en adquirir estos conocimientos. Así lo demuestra las respuestas obtenidas a la pregunta “**¿Considera útil recibir una charla al respecto?**” (véase Figura 3-63).

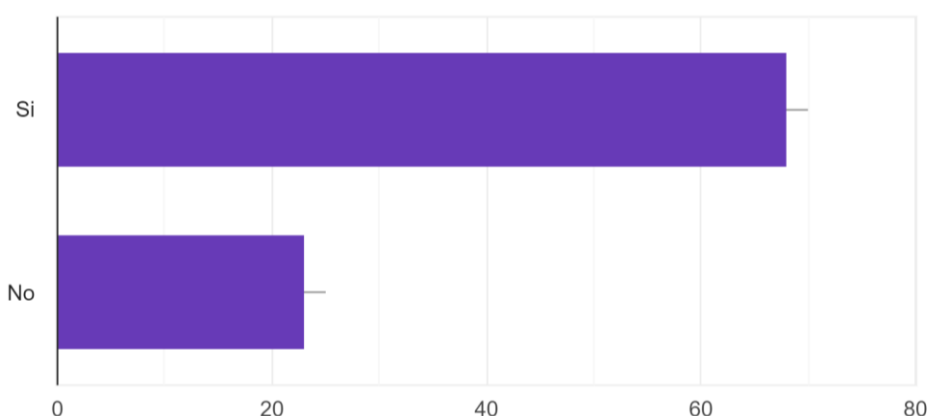


Figura 3-63 Utilidad de una charla.

Por último, en la encuesta se ha preguntado “**¿Cree que la ENM debe tener un medio propio de tratamiento de residuos?**” (Figura 3-64), obteniéndose un resultado positivo por parte del 70% de los encuestados. Es por ello que, la propuesta realizada en este Trabajo Fin de Grado, podría ser una opción más que razonable no sólo de cara a ser una institución cada vez más sostenible sino también para tener un papel ejemplar de cara al personal que se encuentra en ella.

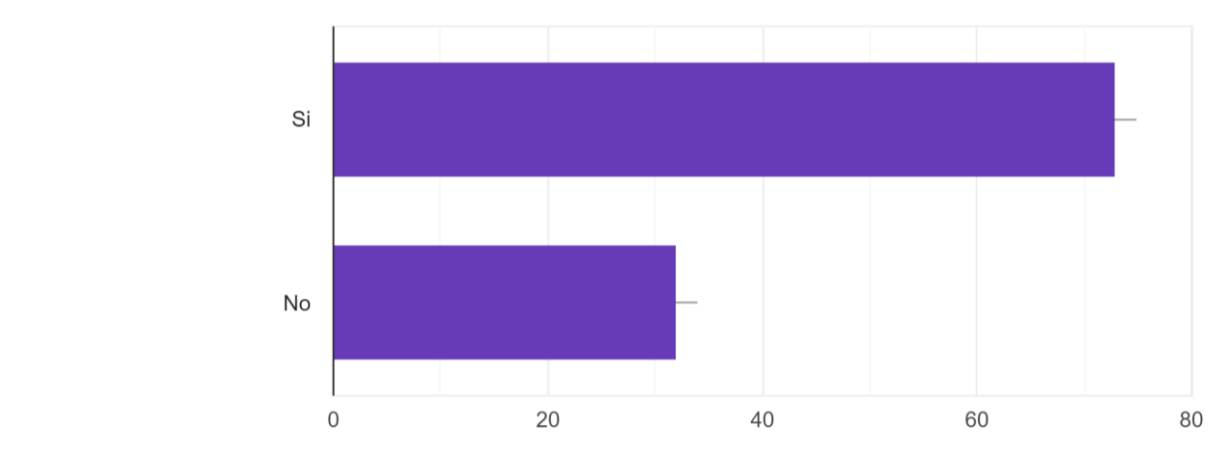


Figura 3-64 Tratamiento en la ENM.

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

Desde el comienzo del trabajo se notó gran interés por parte de la ENM, en implementar e identificar estrategias que dieran una solución a la problemática ambiental actual que genera el inadecuado tratamiento de los residuos peligrosos y no peligrosos en la sociedad, es por ello que la escuela tiene implementado una gestión de estos para aumentar la calidad de vida de todo el personal de las instalaciones.

En la Escuela Naval Militar anualmente se genera una gran cantidad de residuos de diferentes tipologías que no reciben ningún tratamiento in situ, simplemente son depositados en los contenedores correspondientes y recogidos por una empresa autorizada para ello. Esta gestión de recogida no supone un gasto para la Escuela, pues los convenios existentes la eximen de cualquier tipo de gasto, si bien quiere seguir dando un papel ejemplarizante sería importante tener en consideración diferentes opciones de tratamiento de residuos que le permitan no sólo ser más sostenible sino también obtener un beneficio.

Los objetivos principales del TFG se han alcanzado con éxito, siendo estos hacer un estudio de los diferentes residuos generados en la ENM, cuantificando las cantidades producidas y, en su caso, identificando qué tratamientos se están llevando a cabo en la actualidad. Debido a la ausencia de tratamiento, se ha analizado la viabilidad de implementar tres alternativas de tratamiento diferentes con sus correspondientes cálculos en función de las cantidades necesarias, las dimensiones de la instalación, el coste o incluso los conocimientos necesarios para llevar a cabo su operatividad. De los tres tratamientos analizados y propuestos (compostaje, digestión anaerobia e instalación de una caldera de biomasa), todos ellos se consideran viables, sin embargo, la digestión anaeróbica ha sido descartada por suponer un coste más elevado además de una mayor cualificación del personal.

A su vez, se ha realizado una encuesta que ha sido distribuida entre el personal de la ENM y cuya principal conclusión se puede extraer es la falta de conocimiento y concienciación de gran parte del personal en referencia al cuidado del medio ambiente y la gestión de residuos. Razón que puede justificar, en parte, la falta de iniciativa a la hora de proponer alternativas de tratamiento o de hacer una gestión más eficaz de los residuos generados en la Escuela. Si bien ha de mencionarse que el manejo de los residuos peligrosos y el almacenamiento de estos es correcto, por lo tanto, no existe preocupación que afecte a la salud de las personas.

Para finalizar, resaltar también que en el estudio se ha comprobado que la gestión de residuos realizada en la ENM es correcta, existiendo grado de mejora en lo que a la cuantificación de residuos se refiere. Únicamente se dispone de registros de cantidades estimadas de residuos urbanos de tal manera que los cálculos realizados en el presente trabajo sean aproximados.

4.2 Líneas futuras

La gestión de residuos y sobre todo el tratamiento de residuos está ganando terreno en el mundo de las tecnologías en desarrollo para el ahorro de energía. La provincia de Pontevedra está inmersa en un proyecto de modernización e instalación de nuevos métodos de tratamiento como son los contenedores de compostajes expuestos en el trabajo. Es por ello que, como posibles líneas futuras se podrían plantear las siguientes:

- a) Creación de una aplicación que automatice la cuantificación de los residuos en la ENM.
- b) Análisis de la viabilidad técnica y económica de la sustitución de las calderas existentes en la ENM por calderas de biomasa.
- c) Análisis de la viabilidad técnica y económica de un sistema centralizado de tratamiento de residuos sólidos generados en las distintas bases militares de Galicia

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. G. Delgado, «El Estudio de los Residuos. Definiciones, Tipologías, Gestión y Tratamiento» <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1037/El%20Estudio%20de%20los%20Residuos.%20Definiciones%2C%20Tipolog%C3%ADas%2C%20Gesti%C3%B3n%20y%20Tratamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, [Último acceso: 22 enero 2022]
- [2] «memoriaanual2019generacionygestionresiduosrescompetenciamunicipal_tcm30-534462.pdf» Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/Memoria-anual-generacion-gestion-residuos.aspx>. [Último acceso: 26 enero 2022]
- [3] U. Nations, «Datos y cifras | Naciones Unidas», *United Nations*. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures> (accedido 1 de febrero de 2022).
- [4] C. B. Flores, «La problemática de los desechos sólidos» Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1956/195614958006.pdf>, p. 24, 2009. [Último acceso: 3 de febrero]
- [5] Documento proporcionado por personal del Ministerio de Defensa. «M2-UF4-BL3 Residuos-- Versión PDF (2).pdf».
- [6] «BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf». Accedido: 1 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>
- [7] «Programa Universitario de Estrategias para la Sustentabilidad: Divide y vencerás: cómo separar los residuos domésticos». <http://sustentabilidadunam.blogspot.com/2016/03/divide-y-venceras-como-separar-los.html> (accedido 26 de enero de 2022).
- [8] «Sistema de Recogida». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Recogidas-comerciales.aspx> (accedido 26 de enero de 2022).
- [9] «RESIDUOS INDUSTRIALES: qué son, ejemplos, tipos, clasificación y manejo», *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/residuos-industriales-que-son-ejemplos-tipos-clasificacion-y-manejo-2714.html> (accedido 27 de enero de 2022).
- [10] Documento proporcionado por la Escuela Naval Militar. «PG-09ControlOperacionalResiduos REV3 2021.pdf».
- [11] «Tratamiento de residuos sanitarios - Adalmo». <https://www.adalmo.es/noticias/tratamiento-de-residuos-sanitarios/> (accedido 27 de enero de 2022).
- [12] «estudio residuos peligrosos.pdf». Available: <https://www.redalyc.org/pdf/475/47540304.pdf> [Último acceso: 9 de febrero en 2022]
- [13] «Residuos peligrosos, una constante en nuestro día a día | blogmcp», 16 de noviembre de 2018. <https://ecoblog.mcp.es/l4r/residuos-peligrosos-una-constante-en-nuestro-dia-a-dia/> (accedido 27 de enero de 2022).

- [14] Documento proporcionado por personal del Ministerio de Defensa «Politica mediambiental MDE.pdf».
- [15] «Prestige: Las redes recuerdan la catástrofe en Galicia». <https://www.ultimahora.es/noticias/nacional/2019/11/13/1120803/prestige-redes-recuerdan-catastrofe-galicia.html> (accedido 27 de enero de 2022).
- [16] A. Española, «Sistema de Gestión Ambiental - Medio Ambiente - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/02GestionAmbiental> (accedido 27 de enero de 2022).
- [17] D. de Cádiz, «La Armada tiene un planeamiento listo para actuar por el volcán de La Palma», *Diario de Cádiz*, 30 de octubre de 2021. https://www.diariodecadiz.es/noticias-provincia-cadiz/Armada-actuar-volcan-palma_0_1624637985.html (accedido 27 de enero de 2022).
- [18] «NTP-1054: Gestión de residuos: clasificación y tratamiento .pdf». Available: <https://www.insst.es/documents/94886/331130/ntp-1054w.pdf/79c06c7b-984a-4f8f-87cd-3e0af9b8a491> [Último acceso: 16 de febrero de 2022]
- [19] «GHK: Estaciones de Transferencia (ET)». <https://www.ghk.eus/estaciones-de-transferencia-et.htm> (accedido 28 de enero de 2022).
- [20] «¿Qué se puede reciclar de un coche? -- Autobild.es». <https://www.autobild.es/practicos/que-se-puede-reciclar-coche-236139> (accedido 31 de enero de 2022).
- [21] «Depósito controlado - Wikipedia, la enciclopedia libre». https://es.wikipedia.org/wiki/Dep%C3%B3sito_controlado (accedido 28 de enero de 2022).
- [22] A. R. Salvador, «LA INCINERADORA DE RESIDUOS: ¿ESTÁ JUSTIFICADO EL RECHAZO SOCIAL?», p. 13.
- [23] «Manual de compostaje 2011 PAGINAS 1-24_tcm30-185556.pdf». Accedido: 28 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf
- [24] «Plantas de compostaje descentralizadas - Vermican Soluciones de Compostaje S.L.» <https://ecompostaje.com/consultoria-de-residuos-y-limpieza-viaria/plantas-de-compostaje-descentralizadas/> (accedido 28 de enero de 2022).
- [25] «Ecodepur - Tecnologías de protección del medio ambiente | E.D.A.R. COMPACTA | ECODEPUR® SBR». <https://www.ecodepur.pt/detalles-del-producto/edar-compacta-ecodepur-sbr> (accedido 1 de febrero de 2022).
- [26] «Regeneración de aceites usados - tecnología de proceso - globecore.com». <https://globecore.com/es/publications/used-oil-regeneration/> (accedido 1 de febrero de 2022).
- [27] A. Española, «Historia - Escuela Naval Militar - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personalnm/prefLang-es/02historia> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [28] A. Española, «Escuela Naval Militar - Unidades participantes - Especiales - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosespeciales/prefLang-es/03dia-de-la-fiesta-nacional--05dia-de-la-fiesta-nacional-2014--03unidadesparticipantesfn2014--02escuelanavalmilitar-es> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [29] «El Juan Sebastián de Elcano da todo su aparejo en mitad del Atlántico • Elcano». <https://www.lavozdigital.es/elcano/juan-sebastian-elcano-da-aparejo-mitad-del-atlantico/> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [30] A. Española, «Escuela Naval Militar - Escuelas de la Armada - Galería Fotográfica - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/multimedialogaleria/prefLang-es/18escuelas--02enm-es?_pageNum=2¶mNo= (accedido 2 de febrero de 2022).

- [31] A. Española, «Inicio - Escuela Naval Militar - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/Armadaespannola/personalenm/prefLang-es/> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [32] «Peligro biológico». <https://www.visavet.es/es/bioslab/peligro-biologico.php> (accedido 8 de febrero de 2022).
- [33] «Reyes y Porras - La comercialización un medio para insertar en el m.pdf». Accedido: 28 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xvi/docs/10I.pdf>
- [34] «Etapas del proceso de compostaje | Grupo de Gestión de Residuos». <https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-de-compostaje/> (accedido 28 de febrero de 2022).
- [35] «Costes de producción de compost en una explotación ganadera». https://www.3tres3.com/articulos/costes-de-produccion-de-compost-en-una-explotacion-ganadera_1639/ (accedido 9 de marzo de 2022).
- [36] «Persoal Técnico - Deputación de Pontevedra». <https://revitaliza.depo.gal/persoal-tecnico> (accedido 13 de marzo de 2022).
- [37] «Biotrituradora profesional - 10 modelos en oferta AgriEuro». https://www.agrieuro.es/biotrituradoras-electricas/biotrituradoras-electricas-profesionales-c-42_1846_398.html (accedido 9 de marzo de 2022).

ANEXO I: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS CALDERAS Eco HK 20kW



TECNOLOGÍA ECO HARGASSNER



Vigilancia de las brasas y control con sonda Lambda

La vigilancia exacta de la altura del lecho de brasas mediante sensores permite conseguir el estado de combustión más eficiente en función de la calidad del combustible.

Independientemente del combustible que usted haya almacenado, astilla blanda o dura, seca o húmeda, el control detecta mediante la sonda lambda y el sensor de llamas el poder calorífico correspondiente y regula así la mezcla óptima combustible-aire.

Su caldera funciona siempre con la potencia requerida y a los valores de combustión óptimos.

Este es el confort de control con futuro: el ajuste manual constante de la instalación basado en la carga de combustible es una técnica que pertenece al pasado.



Cámara de combustión refractaria con recirculación de humos de serie

La cámara de combustión refractaria garantiza gracias a su efecto acumulador especial una alta temperatura de combustión (también en carga parcial), minimiza el uso del dispositivo de ignición y reduce el nivel de emisiones.

Para reducir la tendencia de generación de costras por la combustión de material muy seco o por tener un punto de fusión de cenizas muy bajo, cada Eco-HK viene de serie con una recirculación de humos. El enfriado del lecho de las brasas permite que no se alcancen los puntos de fusión de la ceniza relativamente bajos de algunos combustibles alternativos.



La limpieza optimizada aumenta el rendimiento

El nuevo concepto de limpieza limpia ahora en intervalos periódicos TODOS los tubos del intercambiador - NUEVO - también el 1er tiro (de material termome-sistente). Los bordes de los turbuladores eliminan a la perfección los restos de cenizas volátiles de los tubos del intercambiador, que caen directamente al sinfín de cenizas. El nuevo sistema de eliminación de cenizas limpia la caldera en intervalos periódicos. El sinfín de cenizas transporta tanto los volátiles como las cenizas de la parrilla hasta el cenicero. Las cenizas son trituradas durante el transporte y compactadas en la caja de cenizas. Esto posibilita un alto confort de limpieza y mayor rendimiento anual.

PATENTADO

Válvula rotatoria "Z" de 2 cámaras

Válvula rotatoria en forma de Z, especial para el uso de astilla.

- asegura el 100 % de seguridad frente al retorno de llama
- Profundidad de la cámara 18 / 22 cm
- también para astilla larga
- funcionamiento fiable
- ahorra mucha fuerza
- con cantos reforzados

Aumento de la temperatura de retorno integrado

Como accesorio hay disponible un kit hidráulico de aumento de la temperatura de retorno integrable con bomba de bajo consumo y mezcladora.

- Rápido y sencillo montaje
- compacto y económico
- listo para montar, precableado



Mínimas emisiones con calderas Hargassner!

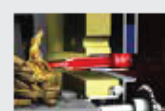
Gracias al sofisticado sistema de control y regulación así como al diseño de la cámara de combustión se alcanzan óptimas eficiencias y emisiones.

DATOS TÉCNICOS											
	kW	EFICIENCIA %		CO mg/MJ		NOX mg/MJ		TOC mg/MJ		PARTICULAS mg/MJ	
	CARGA:	plena	parcial	plena	parcial	plena	parcial	plena	parcial	plena	parcial
ECO-HK 20	20	93,3	91,4	8	70	40	38	< 1	< 1	3	3
ECO-HK 30	30	94,4	93,2	7	50	52	42	< 1	1	4	7
ECO-HK 35	35	94,8	94,1	6	54	53	44	< 1	1	4	8
ECO-HK 40	40	94,9	95	5	48	55	46	< 1	1	4	11
ECO-HK 50	50	95,3	95	4	48	50	46	< 1	1	6	11
ECO-HK 60	60	95,9	95	3	48	62	46	< 1	1	7	11
ECO-HK 70	70	95,8	95,3	3	47	62	46	< 1	1	7	10
ECO-HK 90	90	95,2	96	3	46	62	46	< 1	1	8	9
ECO-HK 100	90	95	96,3	3	45	61	46	< 1	1	8	8
ECO-HK 110	110	94,7	96,7	3	44	61	46	< 1	1	8	7
ECO-HK 120	120	94,5	97	3	43	61	46	< 1	1	8	6
ECO-HK 150	150	93,4	93,1	13	10	78	-	1	1	12	-
ECO-HK 200	200	93,1	93,6	<2	28	98	80	<2	<2	14	7
ECO-HK 250	250	94,5	97,2	5	25	64	55	<2	<2	9	4
ECO-HK 300	300	94,4	96,9	8	31	62	40	<2	<2	9	3
ECO-HK 330	330	93,8	96,4	10	34	61	45	<2	<2	9	3

Control ECO

El sistema de Control Eco: Para Hargassner la eficiencia de la caldera no sólo se limita a una eficiente combustión, sino también a un mínimo consumo eléctrico de todos sus elementos, incluido el sistema de alimentación de astilla.

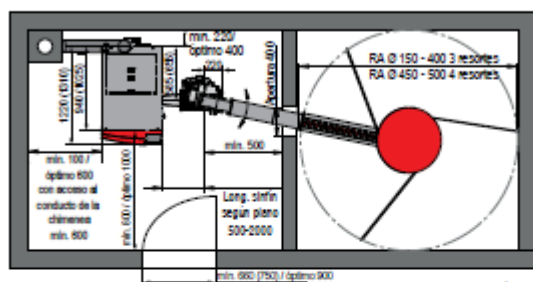
- Control de revoluciones del ventilador de tiro forzado del tipo EC mediante medición de la depresión: el control electrónico de revoluciones del motor con tecnología EC permite reducir en hasta un 80% el consumo eléctrico
- Sistema de extracción de combustible del silo: gracias al sistema de engranajes altamente eficientes es posible usar motores de baja potencia (dependiendo de la caldera entre 0.18 - 0,55 kW), pudiendo ahorrar así hasta un 67% de electricidad
- Encendido de bajo consumo con una resistencia de 300W (1000W menos que antes). Por otro lado el sistema de control intenta evitar en medida de lo posible usar la resistencia, intentando aprovechar el calor almacenado en el refractario



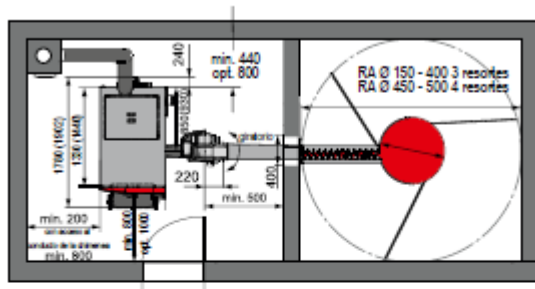
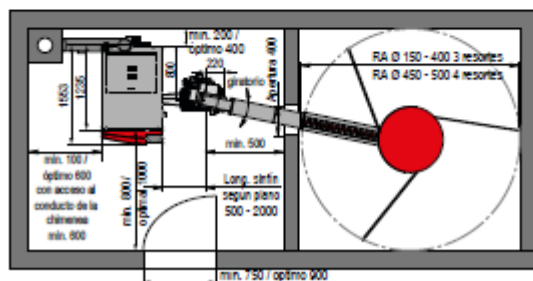
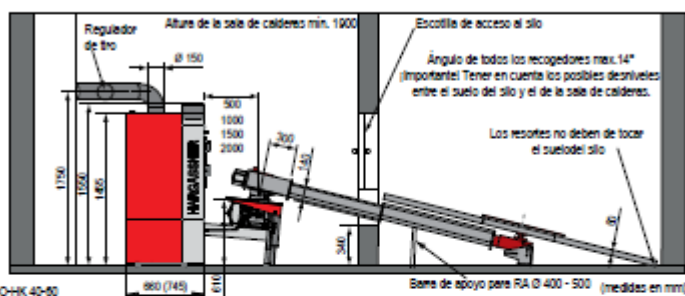
- Reducción del consumo eléctrico en un 88%
- Control inteligente del encendido
- silencioso

A+

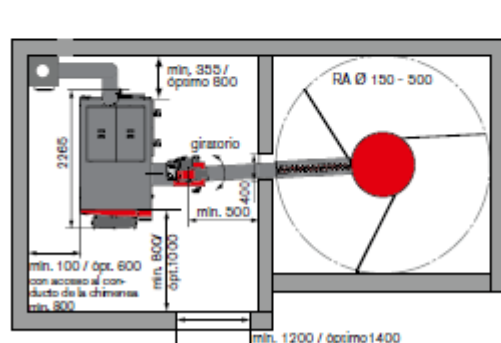
A⁺



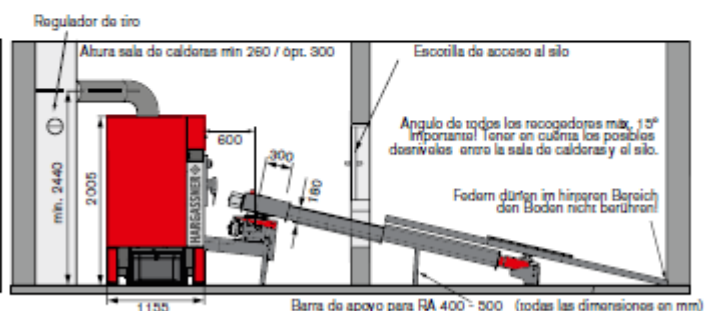
Valores en paréntesis = ECO-HK 40-50



min. 900 / óptimo 1000 Valores en (...) válidos para Eco-HK 200



min. 1200 / óptimo 1400



Datos técnicos Eco-HK 20-200

Calderas de astilla ECO-HK 20-330																	
	Unidad	Eco-HK 20	Eco-HK 30	Eco-HK 35	Eco-HK 40	Eco-HK 50	Eco-HK 60	Eco-HK 70	Eco-HK 90	Eco-HK 100	Eco-HK 110	Eco-HK 120	Eco-HK 150	Eco-HK 200	Eco-HK 250	Eco-HK 300	Eco-HK 330
Rango de potencia	kW	6-20	9-32	10-35	12-40	12-49	18-60	21-70	27-90	30-99	33-110	36-120	44-149	50-199	75-250	90-300	99-330
Eficiencia carga máx./parcial	%	93,9 / 91,4	94,4 / 93,2	94,6 / 94,1	94,8 / 95	95,3 / 95	95,8 / 95	95,6 / 95,3	95,2 / 96	95 / 96,3	94,7 / 96,7	94,5 / 97	93,4 / 93,1	93,1 / 93,6	94,5 / 97,2	94,4 / 96,9	93,6 / 94,4
Potencia a carga máx.	kW	21	32	37	42	52	63	73	94	104	116	127	150,5	213,7	267	320	352
Diámetro del tubo de humos	mm	150	150	150	150	150	150	180	180	180	180	180	200	250	250	250	250
Capacidad de agua	litros	100	100	100	142	142	142	180	180	180	180	180	253	360	570	570	570
Pérdida de carga AT 10 [K]	mbar	23	50	67	81	119	174	-	-	-	-	-	184,6	227	-	-	-
Pérdida de carga AT 20 [K]	mbar	6	13	18	21	31	46	-	-	-	-	-	49,0	63	-	-	-
Impulsión y retorno	Pulg.	5/4 RI	5/4 RI	5/4 RI	5/4 RI	5/4 RI	5/4 RI	6/4 RI	6/4 RI	6/4 RI	6/4 RI	6/4 RI	2" / 2"	2 1/2" / 2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"
Peso	kg	490	490	490	560	560	560	865	865	890	890	890	1190	1320	2150	2150	2150
Altura de la caldera	H mm	1455	1455	1455	1455	1455	1455	1610	1610	1610	1610	1610	1760	1910	2005	2005	2005
Ancho de la caldera	B mm	660	660	660	745	745	745	745	745	745	745	745	875	945	1155	1155	1155
Fondo de la caldera	T mm	940	940	940	1025	1025	1025	1235	1235	1235	1235	1235	1790	1902	2138	2138	2138
Dim. de colocación A1 x A2 x F	B mm	1510x660x1025			1510x745x1110			1670x745x1235					1800 x 875 x 1450	1955 x 945 x 1505	2065 x 1150 x 1070		

Temp. máx. de servicio 85°C, Presión máx. 3bar, Range temp. 65-78°C, temp. de retorno necesaria 58°C, conexión eléctrica 400V AC, 50 Hz, protección 13 A

Sabía que Hargassner dispone de diferentes formas de llenar los silos con astillas?

Hargassner ofrece a sus clientes una gran variedad de posibilidades para llenar los silos con astilla, desde **elevadores verticales, pasando por los de inclinación variable o los horizontales**. Para cada caso una solución! Déjese asesorar por el equipo Hargassner!

Los elevadores tienen una capacidad de hasta 50 m³/h. La tolva de llenado puede enterrarse o puede colocarse en el exterior con su bastidor con ruedas y tapa. El tramo vertical puede alargarse hasta 8 m.

- lanzador patentado
- limpio
- hasta 50 m³/h de capacidad



ESPAÑA Y PORTUGAL
Hargassner Ibérica SL
Pol. Ind. Asipio. Calle D
Parcela 85 A - 4
33428- Cayés-Llanera (Asturias)
Teléfono: 984 281965
Fax: 984 281621
info@hargassner.es

www.hargassner.es

AUSTRIA
Hargassner Ges.mbH
A-4952 Weng, Alta Austria
Anton Hargassner Straße 1
Teléfono +43(0)7723/5274
Fax +43(0)7723/5274-5
office@hargassner.at

www.hargassner.at



Como Hargassner Caldera de pellets, caldera de astilla, caldera de leña, depósito de inercia, caldera gran tamaño 150-200 kW, caldera de biomasa, contenedor de calefacción, sinfin de carga. Puede solicitar información adicional en www.hargassner.es