ESTUDIO, ANÁLISIS Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN NAVAL, PARA SU RECICLAJE Y USO EN OTRAS APLICACIONES MARINAS

Sara Ferreño González*, Luís Carral Couce,
María Jesús Rodríguez Guerreiro, Jose Ángel Fraguela Formoso, Raúl Villa Caro

Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Universidad de A Coruña.
C/Mendizábal, 15.403. Ferrol (A Coruña). España.
*CETNAGA: Centro Tecnológico del Naval de Galicia

e-mail: sferreno @cetnaga.com, lcarral @udc.es, maria.guerreiro @udc.es, jafraguela @udc.es., raul.villa@udc.es

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN: 2
ABSTRACT: 2
INTRODUCCIÓN 3
HORMIGÓN. CONCEPTOS BÁSICOS 4
DESCRIPCIÓN DEL ASTILLERO NAVAL CONSIDERADO EN EL TRABAJO 5
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN NAVAL 6
RESIDUOS DECLARADOS NO APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO 8
RESIDUOS QUE, BAJO DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS, PODRÍAN SER APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO 10
RESIDUOS APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO 11
CONCLUSIONES 16
BIBLIOGRAFÍA: 16

RESUMEN:

A pesar de que la Industria de la construcción y reparación naval no es especialmente contaminante, en ella se generan grandes cantidades de residuos de distinta procedencia.

Mientras que los residuos peligrosos han de ser tratados por un gestor especializado, en el caso de los no peligrosos es interesante identificar cuáles de ellos son susceptibles de ser reciclados.

En este trabajo, se ha llevado a cabo un estudio, análisis y valorización de los residuos industriales no peligrosos que se generan en un astillero, de cara a analizar la posibilidad de que estos puedan ser reciclados para ser empleados como sustitutos de árido en la fabricación de hormigón para su uso en otras aplicaciones marinas (en principio, para la fabricación de arrecifes artificiales, aunque su uso podría extenderse a otros campos como fondeos, muelles, rompeolas, etc.)

Se ha tomado como referencia las instalaciones que el Astillero Navantia tiene en Ferrol. En la factoría de Ferrol se generan en torno a 14600 toneladas de residuos no peligrosos (de los cuales la mayor parte no se reciclan), entre los que destacan: viruta metálica, lodos de mecanizado, granalla, madera, papel, material de aislamiento, chatarra, etc. Se prestará atención a la granalla (6110 toneladas), y a los residuos de materiales de aislamiento (130 toneladas), pues serán estos los que más posibilidades tengan se ser reciclados para usos marinos.

ABSTRACT:

Although shipbuilding and ship repair industries are not particularly polluting by nature, they generate large amounts of waste from different sources. Proper management of them should support recycling in order to assist the preservation and rational use of natural resources.

While hazardous waste must be treated by a specialist manager, in the case of non-hazardous waste, is interesting to identify which ones could be recycled.

In this work, a study, analysis and valorisation of non-hazardous industrial waste generated in a shipyard, has been carried out, in order to analyze the possibility that they can be recycled for be used as aggregate substitutes in manufacturing concrete for its use in other marine applications (for

example, for the manufacture of artificial reefs, although its use could be extended to other fields such as moorings, piers, breakwaters, etc.).

For this study, the facilities that Navantia shipyard has in Ferrol. This company, in Ferrol's factory, generated around 14,600 tonnes of non-hazardous waste (of which most are not recycled), most notably: metal shavings, machining sludges, blasting waste, wood, paper, insulation material, iron and steel, etc. The focus will be in the blasting sand (6110 tonnes) and in the insulation materials (130 tonnes), because they will be the most likely to be recycled for be used in marine applications.

INTRODUCCIÓN

La generación de los residuos en nuestra sociedad es una cuestión de actitud. La población crece a un ritmo muy rápido, pero su producción de residuos lo hace a un ritmo aún mayor. Se trata de uno de los problemas más acuciantes de las sociedades modernas, tanto por las necesidades de gestión como por la contaminación que generan los residuos en el suelo, el agua y el aire, y por los riesgos para la salud pública, para los ecosistemas, la emisión de gases de efecto invernadero, etc.

La generación de residuos representa una pérdida de materiales y energía. Igualmente, su posterior recogida, tratamiento y eliminación genera unos costes económicos y ambientales cada vez mayores para la sociedad. En este sentido, gestionar el problema adecuadamente requiere en primer lugar disminuir la generación de residuos; no es posible mantener el ritmo actual de generación de residuos indefinidamente por lo que la minimización constituye un requisito obligatorio para establecer un modelo sostenible a medio y largo plazo.

En segundo lugar se ha de fomentar la reutilización de materiales y productos; en su defecto reciclar o posibilitar otros tipos de valorización (rentabilizarlos de alguna manera). En definitiva gestionar los residuos para, en última instancia, disminuir la cantidad de residuos destinados a eliminación.

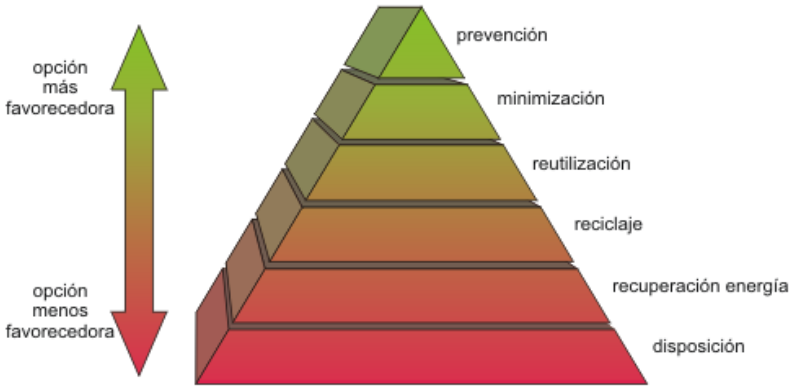


Ilustración 1: La jerarquía del residuo

Se denomina Residuo a "cualquier sustancia u objeto del que su poseedor se desprenda o del que tenga la intención de desprenderse". (Ley 10/98). Se clasifican en:

- **Residuos peligrosos**. Los listados en el Anexo 2 de la Orden MAM/304/2002, Lista Europea de Residuos identificados con el símbolo asterisco (*).Según el RD 952/97, son materias que en cualquier estado físico o químico, contienen elementos o sustancias que pueden representar un peligro para el medio ambiente, la salud humana o los recursos naturales.

- **Residuos no peligrosos** (RD 1481/2001). Aquellos que no sean peligrosos, y que tampoco puedan ser englobados dentro de los inertes porque generan cantidades significativas de lixiviado, por ejemplo unos lodos de depuradora no peligrosos.

- **Residuos inertes** (RD 1481/2001). Tendrán la calificación de residuos inertes aquellos residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Algunos ejemplos de estos residuos son, restos de escombros, ladrillos, hormigón fraguado, vidrio,...

En este trabajo se ha llevado a cabo un análisis de los residuos generados por un astillero naval, de nuevas construcciones y de reparaciones, a fin de determinar cuáles de ellos son susceptibles de ser reciclados para fabricar hormigón (empleándose como sustitutos del árido) cuyo fin será el ser el material de construcción de arrecifes artificiales (aunque su uso podría extenderse a otras aplicaciones marinas, como pueden ser elementos de fondeo, muelles, rompeolas, etc).

Únicamente se considerarán aquellos residuos no peligrosos, ya que los residuos peligrosos de ninguna manera podrán ser reciclados, por lo menos (en algunos casos ni siquiera con eso será suficiente), antes de pasar por un gestor autorizado, y tratados a fin de eliminar aquellos componentes que hacen de ellos un peligro para la salud o para el medio ambiente.

El uso de materiales reciclados como ingredientes del hormigón está ganando popularidad debido a la cada vez más severa legislación medioambiental. Los más utilizados son las cenizas volantes, un subproducto de las centrales termoeléctricas alimentadas por carbón. Su impacto es significativo pues posibilitan la reducción de canteras y vertederos, ya que actúan como sustitutos del cemento, y reducen la cantidad necesaria para obtener un buen hormigón. Como la producción de cemento genera grandes volúmenes de dióxido de carbono, la tecnología de sustitución del cemento desempeña un importante papel en los esfuerzos por aminorar las emisiones de dióxido de carbono.

Las características del proceso productivo para la fabricación de cementos, morteros y hormigones permiten reciclar y valorizar varios tipos de residuos con las condiciones técnicas y ambientales óptimas.

HORMIGÓN. CONCEPTOS BÁSICOS

El hormigón es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro aglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero.

Ilustración 2: Componentes básicos del hormigón

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétrea. La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de hormigón armado, comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas solicitaciones.

Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

Parte del componente árido que forma el hormigón puede ser sustituido por materiales reciclados, provenientes de residuos de diversa índole: metálicos, cerámicos, plásticos, e incluso biológicos. Dentro de estos residuos biológicos podemos considerar por ejemplo residuos de conchas de moluscos, como es el caso de las conchas de mejillón o de ostra. Es importante señalar que estas conchas deberán ser calcinadas (para eliminar todo resto de materia orgánica) y trituradas, obteniendo un tamaño de grano adecuado a su uso.

DESCRIPCIÓN DEL ASTILLERO NAVAL CONSIDERADO EN EL TRABAJO

Con el objetivo de analizar los residuos generados en un astillero tipo, se ha tomado como referencia las instalaciones que el Astillero Navantia tiene en Ferrol (Galicia - España).

Ilustración 3: Unidades de Producción que Navantia tiene en Ferrol

En las Unidades de Producción que Navantia tiene en la Ría de Ferrol (con instalaciones en Fene además de en Ferrol), la empresa cuenta con medios tecnológicos en construcción naval de los más avanzados en el mundo y con un revolucionario modelo de producción, la construcción integrada, que permite alcanzar una excelente calidad y una disminución de costes y plazos.

En estos centros, situados en el noroeste de España, Navantia construye buques militares de última generación, como fragatas con el sistema de combate AEGIS, buques anfibios, portaaviones, petroleros de flota, corbetas, etc.

Ilustración 4: Buque de Proyección Estratégica (BPE), Juan Carlos I

En esta zona también está ubicada la fábrica de Turbinas de Navantia que cuenta con instalaciones con acceso directo al mar, gracias a lo que la fábrica puede enviar sus productos por vía marítima sin, prácticamente, limitaciones de peso y volumen.

Además, en la Ría de Ferrol, Navantia cuenta con un reconocido renombre en la reparación y conversión de buques, gracias a su gran capacidad de trabajo especializado y sus excelentes medios técnicos y humanos.

Entre sus actividades de reparación y conversión de todo tipo de buques, destaca la reparación de buques LNG y LPG, unidades off-shore, buques químicos y otros buques especializados.

Su gran capacidad de renovación y fabricación de acero y tuberías; alta calidad en tratamiento de superficies (tank coating); reparaciones eléctricas, hidráulicas, etc.; así como su taller mecánico dotado de personal altamente cualificado convierten al centro de Navantia en la Ría de Ferrol en uno de los más importantes en reparación de toda Europa.

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

Según los datos analizados, proporcionados por un lado, por la empresa, y por otro, por el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España), los principales residuos que se generaron en las instalaciones de Navantia-Ferrol en el año 2010, son los siguientes (aparecen agrupados según se trate de residuos peligrosos o no peligrosos, y además se identifican mediante su código correspondiente, XX XX XX).

RESIDUOS PELIGROSOS
07 01 04 Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos
08 01 11 Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas
09 01 01 Soluciones de revelado y soluciones activadoras al agua
09 01 04 Soluciones de fijado
11 01 05 Acidos de decapado
11 01 06 Acidos no especificados en otra categoría
11 01 07 Bases de decapado
12 01 09 Emulsiones y disoluciones de mecanizado sin halógenos
12 01 12 Ceras y grasas usadas
12 03 01 Líquidos acuosos de limpieza
13 02 05 Aceites minerales no clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes
13 07 01 Fuel oil y gasóleo
14 06 03 Otros disolventes y mezclas de disolventes
15 01 10 Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas
15 01 11 Envases metálicos, incluidos los recipientes a presión vacíos, que contienen una matriz sólida y porosa peligrosa (por ejemplo, amianto)
15 02 02 Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas
16 01 07 Filtros de aceite
16 02 13 Equipos desechados que contienen componentes peligrosos
16 05 06 Productos químicos de laboratorio que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas, incluidas las mezclas de productos químicos de laboratorio
16 05 07 Productos químicos inorgánicos desechados que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas
16 06 01 Baterías de plomo
16 06 03 Pilas que contienen mercurio
16 07 09 Residuos que contienen otras sustancias peligrosas
17 06 05 Materiales de construcción que contienen amianto
18 01 03 Residuos cuya recogida y eliminación es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones
18 01 06 Productos químicos que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas
20 01 21 Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio

RESIDUOS NO PELIGROSOS
12 01 01 Limaduras y virutas de metales férreos

12 01 15 Lodos de mecanizado distintos de los especificados en el código 12 01 14
12 01 17 Residuos de granallado o chorreado distintos de los especificados en el código 12 01 16
15 01 04 Envases metálicos
15 01 06 Envases mezclados
15 02 03 Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras distintos de los especificados en el código 15 02 02
16 01 03 Neumáticos fuera de uso
17 02 01 Madera
17 04 01 Cobre, bronce, latón
17 04 02 Aluminio
17 04 05 Hierro y acero
17 04 11 Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10
17 06 04 Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03
17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03
19 12 02 Metales férreos
19 12 04 Plástico y caucho
20 01 01 Papel y cartón
20 01 36 Equipos eléctricos y electrónicos desechados distintos de los especificados en los códigos 20 01 21, 20 01 23 y 20 01 35
20 03 01 Mezclas de residuos municipales
20 03 03 Residuos de limpieza viaria

No se ha entrado a analizar con más detalle las posibilidades de reciclado de los residuos peligrosos, pues estos deberán ser recogidos y tratados por un gestor acreditado para ese trabajo. En el caso de los residuos se detallan las cantidades generadas y el posible tratamiento que pueden seguir (según lo indicado por el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España):

RESIDUO	TONELADAS	OPERACIÓN / TRATAMIENTO
Limaduras y virutas de metales férreos	66,8	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Lodos de mecanizado	163	D13 Combinación o mezcla previa a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12.
Residuos de granallado o chorreado	5130	D5 Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente, etc.).
Envases metálicos	56,9	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Envases mezclados	0,615	R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.
Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras	304	D13 Combinación o mezcla previa a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12.
Neumáticos fuera de uso	3,42	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Madera	674	R13 Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de la producción).
Cobre, bronce, latón	9,88	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Aluminio	4,12	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Hierro y acero	3660	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10	24,3	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Materiales de aislamiento	130	D5 Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente, etc.).

Residuos mezclados de construcción y demolición	32,3	R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.
Metales férreos	36,3	D13 Combinación o mezcla previa a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12.
Plástico y caucho	37,4	D5 Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente, etc.).
Papel y cartón	85,9	R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.
Equipos eléctricos y electrónicos desechados distintos de los especificados en los códigos 20 01 21, 20 01 23 y 20 01 35	5,32	R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.
Mezclas de residuos municipales	7,58	R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas).
Residuos de limpieza viaria	963	D5 Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente, etc.).

RESIDUOS DECLARADOS NO APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO

ENVASES METÁLICOS VACÍOS

Diversos envases metálicos de diversa procedencia. No se consideran adecuados para su reutilización como componentes del hormigón, ya que se tratará de envases de diferentes características y que en su momento han contenido productos de diversa índole, que para su uso deberán sufrir el correspondiente tratamiento de triturado, inertizado...

CARTUCHOS DE TÓNER VACÍOS

A pesar de que los residuos de tóner y cartuchos de impresión han dejado de considerarse peligrosos, se debe prestar especial atención a su gestión, ya que contienen componentes sustancialmente peligrosos para el medio ambiente. Actualmente se consideran residuos especiales, para cuya gestión existen varios caminos: Cesión de dichos residuos al proveedor habitual de tóner y cartuchos; su gestión en punto limpio; o incluso la opción de cederlos a un gestor de residuos peligrosos homologado. Por todo ello, se considera que el tratamiento que han de seguir estos productos es aquel que pueda conducir a su reutilización, descartando por completo su reciclaje para usos marinos.

BARREDURAS BUQUES

Las barreduras de los buques contendrán residuos de todo tipo, desde restos de cables eléctricos, polvo metálico, escoria de soldaduras, restos de pinturas, material de aislamiento, envases diversos, residuos orgánicos... Por lo que no parece adecuado su empleo (que requeriría un importante paso de selección y separación de residuos) en la fabricación de hormigón.

CABLES ELÉCTRICOS

Los restos de cables eléctricos estarán compuestos por metales como pueden ser: cobre, aluminio,... y plásticos (recubrimiento), por lo que no se considerará su uso en la fabricación de hormigón que va a ser ubicado en el medio marino.

RESIDUOS DE OBRA

Los residuos de obra abarcan a cualquier residuo que se genere en una obra de construcción y demolición, los cuales pueden tener orígenes diversos: Asfaltos, ladrillos, hormigón, vidrios, tierra limpia, polvo, suelo, porcelanas, metales ferrosos y no ferrosos, maderas, plásticos, aislantes, revestimientos, papel y cartón,...

Al igual que en el caso de las barreduras de buques, y como también sucederá para los restos de limpieza viaria, se trata de residuos de gran variedad, y aunque una pequeña parte de los mismos si podría ser empleada en la fabricación de hormigón para aplicaciones marinas, se descarta debido a que será una pequeña proporción que no compensa el proceso que se debe seguir para su obtención y posterior tratamiento (como por ejemplo, tratar de extraer los restos de hormigón, inertizarlos, triturarlos,...)

BOTES PINTURA VACÍOS

Se trata de envases plásticos o metálicos, conteniendo restos de pintura, por lo que se descarta su uso.

PLÁSTICO Y CAUCHO

Se trata de desechos de diversos materiales de plástico y caucho de diferente naturaleza y propiedades físicas y químicas. Se descarta el uso de materiales plásticos, que se pueden degradar en el medio marino y contaminarlo. Además muchos de ellos pueden ser reciclados.

PAPEL Y CARTÓN

Se trata de materiales con un protocolo de reciclaje establecido. Su uso en la fabricación de hormigón queda por lo tanto descartado.

EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

La chatarra electrónica o desechos electrónicos o basura tecnológica (en inglés: e-waste o WEEE) corresponde a todos aquellos productos eléctricos o electrónicos que han sido desechados o descartados, tales como: ordenadores, teléfonos móviles, televisores y electrodomésticos. Al final de su vida útil, los aparatos eléctricos y electrónicos han de ser tratados mediante un proceso que ofrezca garantías para recuperar los componentes aprovechables y tratar adecuadamente los potencialmente peligrosos. Se descarta por completo su uso, ya estos equipos estarán formados por múltiples metales, plásticos, materiales cerámicos, cables,...

RESIDUOS DE COCINA

Residuos orgánicos generados por los alimentos consumidos por los empleados del astillero. La proporción de este tipo de residuos puede ser, más o menos: Materia orgánica (60%), papel y cartón (13%), plásticos (10%), vidrio (3%), metales (3%), otros (11%).

Al tratarse principalmente de residuos de carácter orgánico, se descarta su uso en el proyecto.

RESTOS DE LIMPIEZA VIARIA (TALLER)

Residuos sólidos equivalentes a urbanos. Compuestos por lo tanto de todo tipo de materiales, la gran mayoría de ellos no aptos para su uso como materia prima del hormigón. Se descarta por lo tanto también su uso.

RESIDUOS QUE, BAJO DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS, PODRÍAN SER APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO

VIRUTA METÁLICA

Tiene su origen en procesos diversos de mecanizado (proceso de transformado basado en la modificación de la estructura física de una pieza hasta alcanzar las especificaciones geométricas definidas). Se compondrá de piezas metálicas de tamaño relativamente pequeño, por lo que su uso como componente del hormigón es posible, si estas son trituradas previamente adquiriendo una granulometría correcta, formando áridos de acero. Además, se debe evitar en la medida de lo posible emplear materiales metálicos, ya que los residuos metálicos no son inertes por completo, y reaccionarán en el medio marino.

LODOS DE MECANIZADO

Lodos derivados de procesos de mecanizado refrigerados por agua. Esta agua incorporará viruta metálica, así como polvo metálico. Al igual que ocurría en el caso de la viruta metálica, su uso como componente del hormigón es posible, si bien, no del todo recomendable.

NEUMÁTICOS FUERA DE USO

Las posibles aplicaciones de reutilización y de reciclado de los NFU son muy variadas. Además del recauchutado, que es sin duda la principal aplicación de reutilización de los neumáticos, se pueden citar empleos de los neumáticos enteros en: Arrecifes artificiales, defensas de muelles o embarcaciones, elementos de seguridad vial,...En trozos o tiras se pueden emplear en: Rellenos ligeros, drenaje de gases en vertederos y rellenos, aislamientos térmicos,... Y como material granulado y polvo tienen aplicación en: Carreteras, campos de fútbol, pistas de atletismo, pistas ecuestres, calzado, baldosas, rellenos de cables,... No se trata de un material adecuado para ser empleado en usos marinos debido a su posible degradación en el mar.

MADERA

Residuos de madera pueden provenir de diversas fuentes. De cualquier forma no se considera un material adecuado para ser incorporado al hormigón.

COBRE, BRONCE, LATÓN, CUNI...

Son cantidades de metal no demasiado grandes, derivadas de la fabricación de alguna maquinaria y en algunas tuberías y accesorios eléctricos. Se descarta por lo tanto su uso.

ALUMINIO

Principalmente residuos procedentes del taller de chapa fina, donde se realizan los trabajos de carpintería metálica. No se trata de un material adecuado para ser empleado en usos marinos.

HIERRO Y ACERO

Se trata principalmente de chatarra de acero resultante de los recortes de chapas, perfiles y tuberías.

La mayoría de la misma está imprimada y una cantidad mucho menor está pintada, por lo que requerirán un importante tratamiento de inertización para eliminar estos componentes y que estos metales puedan ser empleados.

De cualquier modo, estos residuos se pueden considerar de alguna manera "subproductos" por lo que pueden ser reciclados fácilmente. De modo que se considera que lo más lógico es que se empleen para su fundido y reutilización, que es lo que se está viniendo haciendo en general con los mismos, dado el valor que éstos tienen.

RESIDUOS APTOS PARA SU RECICLAJE Y USO EN EL MEDIO MARINO

Los residuos que se han considerado aptos para ser reciclados, e incorporados al medio marino, serán: **Granalla y Residuos de materiales de aislamiento: Lana de roca y fibra de vidrio.**

GRANALLA Y POLVO METÁLICO

Residuos de granalla y áridos procedentes de los tratamientos de las superficies metálicas de los buques. El proceso de granallado consiste en impactar granalla metálica a través de una manguera con aire a presión. Es una operación que consiste básicamente en eliminar pintura, óxido y suciedad de una superficie metálica proyectando contra ella partículas de material abrasivo o granallas aceleradas por aire comprimido. Este proceso es imprescindible antes de pintar superficies metálicas industriales tales como cascos y tanques de buques, depósitos y tanques químicos, torres de aerogeneradores y estructuras metálicas.

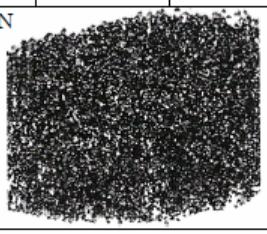
Material		Chemical composition [%] (density 7.4 g/cm3)					Hardness [HV]
class	GP	C	Mn	Si	P	S	450-560
	GL	0.75-1.20	0.60-1.10	0.60-1.10	Max. 0.04	Max. 0.04	600-700
	GH						800-950
Grit GH				Grit GN 			

Ilustración 5: Caracterización estándar de la granalla

Limpiando la granalla de todas las impurezas que esta pudiera contener, podría ser empleada como componente del hormigón.

Analysis Bulletin Beneficiary Shipyard of Galati								
Name of the material	**Elements [%]**							
Used sandblasting grit	**Mn**	**SiO_2**	**CaO**	**MgO**	**Cr_2O_3**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**P.C.**
	0.39	39.28	6.7	6.57	1.20	7.56	38.28	absent

Ilustración 6: Ejemplo de composición química de granalla usada en un astillero [Más información en referencia: "Recycling options for used sandblasting grit into road construction"]

Abrasive blasting material (sandblasting grit)	Abrasive blasting material (used sandblasting grit)
Initial weighed quantity 100 g magnet passing 1 = 2.7 g magnet passing 2 = 2.2 g magnet passing 3 = 2.1 g remains = 91.8 g screening 0.16 = 90.6 g screening 0.07 = 1.2 g	Initial weighed quantity = 100 g magnet passing 1 = 9.2 g magnet passing 2 = 5.0 g magnet passing 3 = 5.5 g remains = 80.3 g Screening through magnet 1 = 9.2 g screen 0.16 = 5.2 g screen 0.07 = 2.3 g screen 0.05 = 1.2 g dust = 0.5 g Screening through magnet 3 = 5.5 g screen 0.16 = 3.3 g screen 0.07 = 1.2 g screen 0.05 = 0.5g dust = 0.5g Screening through screens of the remained grit = 80.3g screen 0.16 = 54 g screen 0.07 = 13.3 g screen 0.05 = 3 g dust = 10 g

Ilustración 7: Separación de las fracciones granulométricas de granalla / residuos de granalla

MATERIAL AISLAMIENTO

Como pueden ser: Lana de roca o de vidrio, poliestireno expandido o extruido, espuma de poliuretano, de resina fenólica... Los más empleados en la industria naval son la lana de roca y la fibra de vidrio:

LANA DE ROCA

La lana de roca, perteneciente a la familia de las lanas minerales, es un material fabricado a partir de la roca volcánica. Se utiliza principalmente como aislamiento térmico y como protección pasiva contra el fuego en la edificación, debido a su estructura fibrosa multidireccional, que le permite albergar aire relativamente inmóvil en su interior.

Ilustración 8: Manta de lana de roca

El proceso de fabricación de la lana de roca pretende emular la acción natural de un volcán. La roca basáltica (diabasa) es fundida a más de 1600 °C en un horno (cubilote) para así retornarla a su estado inicial de lava. La lava es vertida en unas ruedas que giran a gran velocidad, y se transforma en fibras debido al efecto de la fuerza centrífuga (controlando en el proceso los contenidos de sílice y de óxidos metálicos). Tras la pulverización de un ligante orgánico, se reúnen las fibras para formar un colchón de lana primaria. Después de haber sido más o menos comprimido, dependiendo de las prestaciones buscadas, ese colchón pasa a la última fase de curado donde el producto adopta su forma final.

La composición de la lana de roca fruto de este proceso es aproximadamente de 98% roca volcánica y 2% ligante orgánico. El "caldo" utilizado en la fabricación de la lana de roca tiene unas características físico-químicas parecidas a los vidrios, estando compuestos por silicatos y óxidos metálicos. La lana de roca es químicamente neutra. No contiene ningún producto agresivo ni corrosivo. Además no posee ningún elemento susceptible de favorecer un desarrollo microbiano.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Resistencia térmica	Espesor en mm	R(m^2K/W)	Peso (Kg)
	80	2	4,8
	100	2,7	6
	130	3,5	7,8
	150	4	9
	170	4,5	10,2
	200	5,5	12
Calor específico	0.84 kJ/kg k a 20ºC		
Resistencia al paso del vapor de agua	μ± 1.4 Por su estructura abierta, ofrece una fuerte permeabilidad al vapor de agua y no se altera por eventuales condensaciones.		
Reacción al fuego	A1		
Norma	UNE-EN 13501.1		

Aunque generalmente se presenta en forma de manta (como la que vemos en la imagen anterior) otra forma de distribuir la lana de roca es lo que se conoce como "borra", que básicamente es lana de roca presentada a granel, ligeramente impregnada de resina fenólica.

Ilustración 9: Borra de lana de roca (lana de roca a granel): [Fuente imagen: Rockwool]

En cuanto a las principales propiedades de la lana de roca se puede señalar:

- Comportamiento térmico: La estructura de la lana de roca contiene aire seco y estable en su interior, por lo que actúa como obstáculo a las transferencias de calor.
- Comportamiento acústico: Debido a su estructura multidireccional y elástica, la lana de roca frena el movimiento de las partículas de aire y disipa la energía sonora.
- Comportamiento ante el fuego: La lana de roca es un material no combustible, siendo Clase A1 según la clasificación europea de reacción al fuego de los materiales de la construcción (Euroclases). Se utiliza como protección pasiva contra el fuego en edificios, pues conserva sus propiedades mecánicas intactas incluso expuesta a temperaturas superiores a 1000ºC.
- Beneficios aplicados a la agricultura: Gracias a que es un material con hebras y que retiene el aire es ideal para cultivar de forma hidropónica diferentes tipos de plantas y vegetales.

La lana de roca se clasifica en el Catálogo Europeo de Residuos como 17 06 04, "Material de aislamiento que no contiene amianto ni sustancias peligrosas".

FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio (del inglés *fiberglass*) es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (*espinerette*) y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Sus principales propiedades son: buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperaturas. Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales. Las características del material permiten que la fibra de vidrio sea moldeable con mínimos recursos, la habilidad artesana suele ser suficiente para la autoconstrucción de piezas de bricolaje tales como kayak, cascos de veleros, terminaciones de tablas de surf o esculturas, etc. Debe tenerse en cuenta que los compuestos químicos con los que se trabaja en su moldeo dañan la salud, pudiendo producir cáncer.

La fibra de vidrio es un producto natural, inorgánico y mineral. Gracias a su estructura elástica y fibrosa, la fibra de vidrio presenta valores inmejorables de absorción y amortiguación acústica. El uso de fibra de vidrio permite: Acondicionar y aislar acústicamente los locales, proteger a las personas de las agresiones acústicas y aporta seguridad frente al fuego.

Gracias a la naturaleza inorgánica de la fibra de vidrio, ésta resulta de carácter incombustible y mantiene sus excelentes propiedades térmicas y acústicas incluso a elevadas temperaturas.

La inclusión de fibra de vidrio en los elementos constructivos permite: Evitar la formación de incendios en los aislantes; evitar la transmisión de incendios por el aislante y/o proteger frente a la acción del fuego.

Gracias a su entrelazado de fibras que le confieren un elevado poder aislante térmico, la fibra de vidrio reduce las necesidades de climatización en cualquier época del año, consiguiendo: Ahorro de energía, ahorro económico, confort térmico, contribuir a la ecología, reducir la emisión de contaminantes atmosféricos,...

La borra de fibra de vidrio se trata básicamente de nódulos de fibra de vidrio a granel. Las principales aplicaciones que tiene, son: Como aislamiento térmico y acústico en paramentos de doble hoja, rellenando la cámara de aire; aislamiento de buhardillas no habitables; aislamiento de falsos techos no registrables ni ventilados.

PROPIEDADES TÉCNICAS

Conductividad térmica W/(m · K)

Densidad media kg/m³	Conductividad térmica W/(m · K)
20	≤ 0,041
30	≤ 0,038
40	≤ 0,037

Ilustración 10: Propiedades técnicas de la fibra de vidrio (Fuente: www.isover.es)

CONCLUSIONES

En este trabajo, se han identificado y caracterizado los residuos industriales no peligrosos generados en una factoría típica de construcción y reparación naval, con el objetivo de analizar y valorizar su posible incorporación a la fabricación de hormigón el cual será empleado como material de construcción de arrecifes artificiales (señalándose que si bien, éste es el uso principal que se pretende dar al hormigón, su aplicación podría extenderse a otros usos marinos).

La mayor parte de ellos son residuos que incorporan materiales de distinta naturaleza (barreduras de buques, residuos de limpieza viaria,...) y que como consecuencia requieren un considerable tratamiento de selección y tratamiento de los mismos de cara a ser empleados en la elaboración de hormigón. Por lo que se descartaron como componentes del hormigón ya en las primeras fases de valorización de materiales.

Alguno de ellos si podría ser empleado, como es el caso de las virutas metálicas, o los lodos de mecanizado, o incluso neumáticos o plásticos. Estos se descartaron teniendo en cuenta que el hormigón será empleado en la fabricación de elementos que se van a incorporar en el medio marino (arrecifes artificiales, fondeos, muelles,...), y por lo tanto se pretenden emplear materiales que no se degraden y en ningún caso puedan perjudicar el medio marino. Es importante señalar que aunque uno de los principales objetivos del proyecto es fomentar el uso de materiales reciclados, en ningún caso se pretende emplear el medio marino como un vertedero.

Se considerará el uso de materiales reciclados, siempre que no afecten al medio marino, ya sea por degradación de esos materiales, liberación al agua de componentes, que aún no siendo contaminantes, puedan afectar a las características del agua de mar o a la alimentación de los peces, oxidación (en el caso de metales)...

Por lo que finalmente la lista inicial de residuos no peligrosos se redujo a 3: **Granalla usada, residuos de materiales de aislamiento: Lana de roca y lana de fibra de vidrio.**

Esos serán los materiales que se tratarán de analizar de modo experimental mediante ensayos de probetas de hormigón que incorporen tanto granalla como lana de roca y de vidrio.

BIBLIOGRAFÍA:

1. "Industria Naval y Medio Ambiente". Grupo de Trabajo de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.

2. "Agregados no convencionales para la preparación de concretos ecológicos". María Fernanda Serrano Guzmán, Diego Darío Pérez Ruíz. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. © 2011 pp 549-556 ISBN 978-607-607-015-4.

3. "Informe sobre residuos no peligrosos generados en Navantia (Factoría de la Ría de Ferrol) en el año 2010". Navantia, 2011.

4. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España).

5. “Recycling options for used sandblasting grit into road construction”. Daniela Laura Buruiana, Marian Bordei, Ioana Diaconescu, Aurel Ciurea, University of Galati, Romania.