

GUIA SOBRE LA ADECUADA GESTIÓN DE RESIDUOS CON ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA INDUSTRIA DE FUNDICIÓN

CONTENIDO

GLOSARIO DE TÉRMINOS	4
PRESENTACIÓN	8
INTRODUCCIÓN	10
Ámbito de aplicación	11
Capítulo 1: Economía circular en la gestión de los residuos sólidos de la industria de fundiciones	14
Capítulo 2: Manejo de residuos sólidos en el proceso productivo del sector fundición	17
2.1. Identificación de los residuos	18
2.2. Clasificación de los residuos	18
2.3. Flujos de los procesos de la industria de fundición	19
2.4. Servicios auxiliares	27
2.5. Clasificación de residuos en el proceso de la industria de fundición	27
2.6. Alternativas de valorización de los residuos sólidos de la industria de fundición	29
2.7. Manejo de los residuos sólidos	32
2.7.1. Minimización	32
2.7.2. Segregación	34
2.7.3. Almacenamiento	35
2.7.4. Transporte de residuos sólidos	38
2.7.5. Acondicionamiento	38
2.7.6. Valorización	39
2.7.7. Tratamiento	40
2.7.8. Disposición final	40
2.7.9. Registro en el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL	41
2.7.10. Otras consideraciones para tener en cuenta en el manejo de los residuos sólidos	41
2.8. Manejo del material de descarte	41
Capítulo 3: Casos de gestión de residuos sólidos con enfoque de economía circular	43
3.1. Aplicación de las 9R	43
3.2. Recuperación de arenas de moldeo	43
3.3. Reutilización de las arenas de fundición	47
a) Caso 1: Arena de fundición como materia prima alternativa en la fabricación de cemento	48
b) Caso 2: Arena de fundición en la construcción de viviendas	50
c) Caso 3: Arena de fundición como ingrediente de pavimento asfáltico	51
d) Caso 4: Estudio del uso de escoria como agregado de concreto	52
Capítulo 4: Plan de minimización y manejo de residuos sólidos en el sector fundición	54

ANEXOS	59
ANEXO 1	59
LISTA DE CARACTERÍSTICAS PELIGROSAS	59
ANEXO 2	62
FICHA TÉCNICA DE RESIDUOS	62
(b modelo).....	62
ANEXO 3	67
FORMATOS SUGERIDOS PARA EL REGISTRO DE INFORMACIÓN DE GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	67

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Tipos comunes de hornos de fundición en el Perú
- Tabla 2.** Cantidad de residuos sólidos generados en una fundición mediana
- Tabla 3.** Aplicaciones de reutilización de la arena usada
- Tabla 4.** Segregación de residuos sólidos de fundiciones en recipientes de colores
- Tabla 5.** Ejemplos de aplicación de las 9R en la gestión de residuos sólidos en fundiciones

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Jerarquía de alternativas en la gestión de los residuos sólidos
- Figura 2.** Opciones estratégicas con enfoque circular a seguir por las empresas
- Figura 3.** Entradas y salidas de materiales en el proceso de la industria de fundición
- Figura 4.** Viruta mezclada como material de descarte
- Figura 5.** Recipientes de almacenamiento temporal de residuos
- Figura 6.** Contenedor con arena residual de moldeo
- Figura 7.** Instalaciones de almacenamiento central de residuos sólidos no peligrosos y peligrosos
- Figura 8.** Trozos de moldes de arena a recuperar
- Figura 9.** Sistema de recuperación de arenas de moldes
- Figura 10.** Pila de núcleos de arena sin procesar
- Figura 11.** Máquina que tritura y zarandea los núcleos de arena
- Figura 12.** Máquina que seca los núcleos de arena triturados y clasificados
- Figura 13.** Vista de una de las casas que utilizó la arena de Eureka como relleno de cimientos
- Figura 14.** Núcleo tomado de un bloque de prueba en el sitio de la construcción

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acondicionamiento: Consiste en la transformación física que permite y/o facilita la valorización de los residuos sólidos, la que se puede efectuar a través de actividades de segregación, almacenamiento, limpieza, trituración o molido, compactación física y empaque o embalaje, entre otros.

Almacenamiento: Operación de acumulación temporal de residuos en condiciones técnicas como parte del sistema de manejo hasta su valorización o disposición final.

Ciclo biológico: Inspirado en los ecosistemas naturales, busca al final del ciclo de vida de los materiales orgánicos que estos puedan regresar –de forma segura- a la biósfera para aportar nutrientes.

Ciclo técnico: Implica el uso técnico y/o tecnológico y la transformación de material y recursos energéticos, y la optimización de su diseño al más alto nivel de eficiencia posible.

Contenedor: Es el recipiente destinado al depósito temporal de los residuos sólidos.

Coprocesamiento: Uso de residuos idóneos en los procesos de fabricación con el propósito de recuperar energía y recursos, y reducir en consecuencia el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución.

Disposición final: Procesos u operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Ecodiseño: Diseño de productos, envase, embalaje etiquetado u otros, con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos y maximizar el uso eficiente de los materiales, a lo largo de todo su ciclo de vida.

Ecoeficiencia: Uso eficiente de las materias primas e insumos con la finalidad de optimizar los procesos productivos y la provisión de servicios, y de reducir los impactos al ambiente.

Economía circular: Economía que es restauradora y regenerativa por diseño, y que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos.

Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS): Persona jurídica que presta los servicios de limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia o disposición final de residuos. Asimismo, puede realizar las actividades de comercialización y valorización.

Escoria: Residuos o subproductos de la fundición metalúrgica, formados mayormente por óxidos del metal trabajado. En estado sólido suelen ser fragmentos grandes de metal o partículas metálicas cubiertas, en cuyo caso podrían ser procesados para recuperar las partes de metal.

Fundición: Operación que consiste en formar una pieza de metal vertiendo metal fundido en un molde de arena o una matriz de metal resistente.

Generador: Persona natural o jurídica que debido a sus actividades genera residuos, sea como fabricante, importador, distribuidor, comerciante o usuario.

Gestión integral de residuos: Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos.

Logística Inversa: Implica preservar el valor de los materiales técnicos o biológicos mediante su recuperación al fin de uso de los productos para reintroducirlos al sistema. Se debe planificar y optimizar su sistema de recogida, transporte, clasificación y almacenamiento.

Manejo de residuos sólidos: Se define al manejo de los residuos sólidos, peligrosos y no peligrosos, a la ejecución de las operaciones de: Segregación, barrido y limpieza de espacios públicos, recolección selectiva, transporte, almacenamiento, acondicionamiento, valorización, transferencia, tratamiento y disposición final, en condiciones sanitaria y ambientalmente adecuadas.

Material de descarte: Todo subproducto, merma u otro de similar naturaleza, que constituya un insumo directamente aprovechable para la misma actividad u otras. Puede ser recolectado y transferido bajo cualquier modalidad, desde su lugar de generación hasta el lugar de su aprovechamiento, sin la obligación de contratar a una EO-RS. Si se utiliza en otra actividad, puede ser entregado gratuitamente, intercambiado o comercializado. No son materiales de descarte aquellos subproductos, mermas u otros de similar naturaleza, de un proceso productivo que reingresan al mismo proceso de la misma planta.

Minimización: Acción de reducir al mínimo posible la generación de los residuos sólidos, a través de cualquier estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora.

Molde: El molde de fundición se compone de dos mitades que, cuando se unen, forman una cavidad en la que se vierte el metal fundido y finalmente se moldea. Después de que el metal se endurece, el molde se rompe. Para un molde de arena, el metal se retira y se prepara para las operaciones de acabado. El molde de arena es remodelado y usado de nuevo. El molde de metal, por otro lado, se separa para eliminar el metal solidificado y se reutiliza.

Proceso de producción: Es un conjunto de etapas que permiten a la empresa elaborar un nuevo producto o servicio. Durante el proceso la empresa modifica la materia prima en un producto final, listo para su comercialización.

Reciclaje: Toda aquella actividad que permite aprovechar un residuo sólido, mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines.

Recuperación: Toda actividad que permita aprovechar partes de las sustancias o componentes que constituyen los residuos sólidos.

Relleno sanitario: Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Relleno de seguridad: Instalación destinada a la disposición final de residuos peligrosos sanitaria y ambientalmente segura.

Residuos municipales: Están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción.

Residuos no municipales: Son aquellos de carácter peligroso y no peligroso que se generan en el desarrollo de actividades extractivas, productivas y de servicios. Comprenden los generados en las instalaciones principales y auxiliares de la operación.

Residuos no peligrosos: Son aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas, por ende, no representan un riesgo significativo para la salud y el ambiente.

Residuo peligroso: Aquel que, por sus características o el manejo al que es o va a ser sometido, representa un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Se considerarán peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad.

Residuo sólido: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando su valorización y en último caso, su disposición final.

Responsabilidad extendida del productor: Es un enfoque bajo el cual los fabricantes, importadores, distribuidores y comerciantes, tienen la responsabilidad del producto durante todo el ciclo de vida de éste, incluyendo las fases postindustrial y post consumo. Esta asignación de responsabilidad podría proporcionar, en principio, los incentivos para evitar la generación de residuos en la fuente, promover el diseño de productos amigables con el ambiente y apoyar el logro de los objetivos de valorización material y energética.

Segregación: Acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos para ser manejados en forma especial. Esta agrupación

sólo se realiza en la fuente de generación o en una planta, infraestructura u área autorizada.

Tecnología limpia: Proceso de fabricación o una tecnología integrada en el proceso de producción, concebido para reducir, durante el propio proceso, la generación de residuos contaminantes.

Valorización: Cualquier operación cuyo objetivo sea que el residuo, uno o varios de los materiales que lo componen, sea reaprovechado y sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética

Valorización energética: Constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: Coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros.

Valorización material: Constituyen operaciones de valorización material: reutilización, reciclado, compostaje, recuperación de aceites, bio-conversión, entre otras alternativas que, a través de procesos de transformación física, química, u otros demuestran su viabilidad técnica, económica o ambiental.

Virtualización: Sustituir total o parcialmente la parte física de un producto, servicio o proceso interno a lo largo de su ciclo de vida mediante una solución digital. Esto resulta en una reducción de materiales, energía, generación de residuos e inversión en infraestructura, así como en inversión en innovación tecnológica.

PRESENTACIÓN

Las industrias de fundición de metales juegan un rol importante en el reciclaje de los residuos metálicos que producen las actividades humanas, como es la chatarra que se vuelve a fundir para obtener nuevos productos metálicos; pero también producen otros residuos como son las escorias de fundición, las arenas de moldes, los residuos peligrosos del mantenimiento de planta, entre otros, que requieren ser adecuadamente manejados para reducir su impacto ambiental y evitar daños en la salud humana.

Con la finalidad de asegurar una gestión integral y manejo adecuado de los residuos sólidos por parte de la sociedad en su conjunto, incluyendo a las empresas manufactureras, el gobierno peruano promulgó una serie de normas legales¹ que priorizan la prevención o minimización de la generación de residuos; la recuperación y la valorización de los residuos ya generados, y en última instancia la disposición final de los residuos sin valor en la respectiva infraestructura, todo ello con un enfoque de economía circular.

El modelo tradicional de la economía lineal que implica producir, utilizar y tirar, tiene que ser cambiado por otro modelo de economía circular en el que los recursos naturales y técnicos se reutilizan el mayor tiempo posible.

Para conseguir que los residuos y el material de descarte se conviertan en recursos útiles es necesario que los productos sean reconstruidos y utilizados repetidamente, lo cual implica cambios en toda la cadena de valor incorporando criterios ambientales en el diseño, producción, distribución, reciclaje y tratamiento final de cualquier producto.

En el caso de las empresas industriales, el enfoque circular también brinda otros beneficios, como son la reducción de los costos operativos por un mejor aprovechamiento de las materias primas, insumos, productos, residuos y energía, lo que a su vez aumenta su competitividad y reduce sus emisiones de CO₂ y ciertos contaminantes al ambiente.

En el Perú las empresas de fundición de metales son numerosas, desde las microempresas hasta las grandes empresas, y por sus características operativas y sus descargas al ambiente, siempre han tenido la atención de las diversas autoridades ambientales.

El PRODUCE tiene la misión de promover el desarrollo de los agentes del sector productivo, fomentando la innovación, la calidad y sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad del sector. En virtud de ello, el PRODUCE ha elaborado la presente *“Guía de residuos sólidos y material de descarte con enfoque de economía circular para la industria de fundición”* como un aporte a las empresas de fundición, principalmente las micro, pequeñas y medianas

¹ Se refiere al Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos; Decreto Legislativo N° 1501, que modifica el D.L. N° 1278; el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, y el Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM que modifica el Decreto Supremo N° 014-2017.

empresas, a mejorar su desempeño ambiental en especial en el manejo de sus residuos de proceso y material de descarte, acorde con la normativa ambiental del sector y otras normas transectoriales aplicables.

INTRODUCCIÓN

En el Perú la industria de fundición metálica es una actividad económica muy importante, pues sus productos de fundición incluyen piezas de maquinaria y accesorios para la minería, el transporte, la agricultura, otras industrias, herramientas, incluso objetos de uso cotidiano entre otros innumerables ejemplos.

Según el INEI² en el Perú existen 458 empresas de fundición de las cuales 186 son de fundición de hierro y acero y 272 son de metales no ferrosos, siendo que en Lima metropolitana y Callao se concentran 287 empresas, es decir el 62.7% del total.

Según el portal interactivo de fiscalización ambiental (PIFA) del OEFA desde el año 2018 hasta abril del 2023 se presentaron 1791 denuncias ambientales de la actividad industrial en el Perú, de las cuales 30 correspondieron a fundiciones metálicas ferrosas y no ferrosas. Los problemas que más manifestaron los denunciantes de las fundiciones (algunas clandestinas) fueron: emisiones de gases y/o humos sin control, ruidos y malos olores, inadecuado manejo de residuos sólidos, problemas para respirar, irritación de ojos y garganta.

En lo concerniente a los residuos sólidos que generan las fundiciones, destaca el hecho de que alrededor de un 80% son residuos de arenas de fundición, cuya disposición implica altos costos para las empresas, existiendo alternativas de reutilización que evitaría esos costos. Las fundiciones también producen material de descarte que viene siendo aprovechado por otras industrias, lo cual es favorable para la circularidad.

Por otro lado, de la relación de 145 administrados que se dedican a la actividad de fundición que el OEFA tiene identificados en todo el Perú, 135 están en Lima y Callao; el 72% son medianas, pequeñas y microempresas, y casi la mitad (73) cuentan con IGA aprobado por el PRODUCE. También hay empresas informales y personas naturales que se dedican a la fundición.

Ante el panorama señalado de la industria de fundición nacional, se desprende que es necesario que las empresas, en especial las de menor tamaño, las que no cuentan con IGA aprobado o que no tienen la capacidad o el conocimiento para implementar controles, tengan una guía que les ayude a realizar una mejor gestión de sus plantas productivas que les permita un mejor resultado en su desempeño ambiental, en especial lo concerniente al manejo de los residuos sólidos.

La presente guía consta de cuatro capítulos:

En el primer capítulo se describe la problemática respecto a los residuos sólidos de la industria de fundición, así como su adecuada gestión basada en una jerarquía del manejo de los residuos; asimismo se exponen las opciones

² Directorio Central de Empresas y Establecimientos elaborado por el INEI, según los registros administrativos de la SUNAT (IV trimestre 2022).

estratégicas (las denominadas “9R”) con el enfoque de economía circular que las empresas pueden seguir para reducir la generación de residuos.

En el segundo capítulo se explica cómo se identifican y clasifican los residuos en general según la normativa peruana, así mismo se indican los residuos de la industria de fundiciones, y en qué puntos del proceso de fundición se generan los residuos y otras descargas al ambiente. También se presentan las alternativas de valorización de los residuos de las fundiciones y cómo deben manejarse los residuos desde que se generan hasta que se disponen, incluyendo los registros del caso.

En el tercer capítulo se presentan casos nacionales e internacionales de buenas prácticas, que orientan una adecuada gestión de residuos sólidos aplicando el enfoque de la economía circular y aplicando las opciones estratégicas de las “9R” cuando corresponda.

Finalmente, en el cuarto capítulo se aborda el desarrollo del plan de minimización y manejo de residuos sólidos que deben elaborar las empresas de fundición.

Por último, la presente guía se complementa con otra también elaborada por el PRODUCE para el mismo sub sector: “*Guía de economía circular para la industria de fundición*”.

Ámbito de aplicación

La presente guía contiene orientaciones técnicas especializadas para quienes gestionan y operan plantas de fundición de metales de medianas, pequeñas y micro empresas a nivel nacional, brindándoles herramientas prácticas para una mejor gestión de los residuos sólidos en sus instalaciones aplicando el enfoque de economía circular.

Base legal

El contenido de la presente guía toma en cuenta la siguiente normativa peruana:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente al 2030.
- Decreto Supremo N° 006-2019-PRODUCE, que modifica el Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno, aprobado por Decreto Supremo N° 017-2015-PRODUCE.
- Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, y sus modificatorias.
- Resolución Ministerial N° 089-2023-MINAM, que aprueba el “Contenido Mínimo del Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos No Municipales”.

- Resolución Directoral N° 00751-2023-MINAM/VMGA/DGGRS, que aprueba los formatos de: (i) Declaración Anual sobre Minimización y Gestión de Residuos Sólidos; (ii) Manifiesto de Residuos Peligrosos; (iii) Informe de Operador de Residuos Sólidos; y, (iv) Registro Autoritativo.
- Decreto Supremo N° 003-2020-PRODUCE, que aprueba la Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria.
- Decreto Supremo N° 002-2017-PRODUCE, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de la Producción.
- Decreto Supremo N° 009-2019-MINAM, Aprueban el Régimen Especial de Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
- Decreto Supremo N° 024-2021-MINAM, Aprueba el Régimen Especial de Gestión y Manejo de los Neumáticos Fuera de Uso
- Decreto Supremo N° 237-2019-EF, Plan Nacional de Competitividad y Productividad.
- Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019 Gestión de Residuos, código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos.
- Guía Peruana “GP 127:2021. ECONOMÍA CIRCULAR -Marco para la implementación de los principios de la economía circular en las organizaciones”. INACAL.

De dicha normativa resalta la Política Nacional del Ambiente al 2030 (actualizada en el 2021), en la cual se establece el Objetivo prioritario N° 7 que busca mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas y de consumo de bienes y servicios, aplicando la economía circular.

En línea con la política ambiental nacional, el PRODUCE aprobó la Hoja de Ruta hacia una economía circular en el sector industria. De igual manera el Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y de Comercio Interno, establece lineamientos de la gestión ambiental, entre ellos promover la adopción de procesos productivos y de actividades que utilicen tecnologías e insumos limpios, incorporando el reaprovechamiento de residuos y/o el desarrollo de procesos de reconversión de las industrias contaminantes, entre otras prácticas necesarias para lograr una producción limpia. Estas acciones propician la transición hacia la economía circular.

El Plan Nacional de Competitividad y Productividad, en su Objetivo Prioritario N°9: Sostenibilidad Ambiental, se establece como objetivo promover la sostenibilidad ambiental en la operación de actividades económicas. Su cumplimiento apunta hacia una mayor competitividad del país a través de un mejor uso de los recursos naturales, de la adopción de métodos de producción y patrones de consumo que fomenten el tránsito hacia una economía circular, generando beneficios entre los que resaltan la reducción de los costos de producción por la optimización de los procesos productivos y de la gestión integral de los residuos sólidos.

Por otro lado, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por las Naciones Unidas, con el compromiso del Perú, establecieron 17 ejes de acción con un alcance al 2030, entre ellos, el ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, abarca la eficiencia en el uso y la gestión de los recursos naturales (meta 12.2), los efectos ambientales, tales como la gestión

de residuos (meta 12.5), y la liberación de contaminantes, en especial de sustancias químicas (meta 12.4).

Es importante mencionar también que la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos menciona varios lineamientos de orientación que son aplicables por ejemplo a las industrias generadoras de residuos:

- a) Estimular la reducción del uso intensivo de materiales durante la producción de los bienes.
- b) Realizar capacitación técnica para una gestión y manejo de los residuos sólidos eficiente, eficaz y sostenible, enfocada en la minimización y la valorización.
- c) Promover la investigación e innovación tecnológica para una producción más ecoeficiente, la minimización en la generación de residuos y la valorización de los mismos.
- d) Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos en todo el ciclo de vida de los bienes, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación y características de peligrosidad.
- e) Fomentar la valorización de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.
- f) Procurar que la gestión de residuos sólidos contribuya a la lucha contra el cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- g) Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o valorización de los residuos sólidos y su manejo adecuado.
- h) Establecer un sistema de responsabilidad compartida de manejo de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, a fin de evitar riesgos e impactos negativos a la salud humana y el ambiente.
- i) Establecer acciones destinadas a evitar la contaminación ambiental, eliminando malas prácticas de manejo de residuos sólidos que pudieran afectar la calidad del aire, agua, suelos y ecosistemas.

Capítulo 1: Economía circular en la gestión de los residuos sólidos de la industria de fundiciones

Las industrias manufactureras como las fundiciones metálicas demandan recursos naturales que incluyen materiales (metales, arenas, carbón, bentonita, etc.), el agua, la energía (electricidad y combustibles) para producir productos que son utilizados por otras industrias y actividades que tienen como destino final producir bienes para la sociedad. Sin embargo, las necesidades de la gran y creciente población humana están erosionando rápidamente los recursos naturales no renovables del planeta que son cada vez más escasos, dando como resultado una mayor competencia por dichos recursos y un probable incremento de los efectos del cambio climático cada vez más evidente.

Ante dicho escenario, lo que corresponde hacer para garantizar la disponibilidad de recursos en el futuro, es cambiar drásticamente los patrones actuales y los volúmenes de producción y consumo, pero sin dejar de prosperar como sociedad, es transitar hacia una economía circular.

La economía circular se refiere a un enfoque distinto para el diseño de procesos, productos/servicios y modelos de negocio, que permite un crecimiento más amigable con el ambiente mediante una gestión más eficaz de los recursos, haciendo que el flujo de materiales sea más circular, reduciendo los residuos o mejor aún eliminándolos, y empleando energía de fuentes renovables en lo posible y usándola con eficiencia.

El manejo eficiente de los residuos sólidos contribuye con una gestión empresarial con enfoque de economía circular, de manera que se optimice el uso de las materias primas, agua y energía, se recuperen los recursos y así reducir la generación de los residuos para su disposición final. Como consecuencia, se reducirá el impacto ambiental negativo de las plantas de fundición, y se generarán beneficios económicos con la reducción de costos, el aumento de ingresos.

En lo que respecta a la gestión integral de los residuos sólidos el D.L. N° 1278 menciona una jerarquía (ver Figura 1) en el manejo de los residuos que debe seguirse en el siguiente orden:

1° Alternativa: La prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en el mismo origen, frente a cualquier otra alternativa.

2° Alternativa: Si los residuos ya han sido generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, lo cual incluye la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas amigables con el medio ambiente.

3° Alternativa: La disposición final de los residuos sólidos no aprovechables, ya sea en rellenos o escombreras, constituye la última alternativa de manejo y debe realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas.



Figura 1. Jerarquía de alternativas en la gestión de los residuos sólidos (Decreto Legislativo N°1278)

Existen varias opciones estratégicas que las empresas pueden seguir con el enfoque de economía circular dentro de lo que se llama el “Ciclo técnico” y el “Ciclo biológico” para reducir de alguna manera la generación de residuos:

Opciones dentro del “Ciclo técnico”: incluyen las llamadas 9R que se agrupan así:

Uso y fabricación más inteligente del producto: Utilizar menos productos, componentes, materiales, agua o energía durante el diseño y la producción, la entrega y/o uso de productos o servicios.

R0: Rechazar: Lo que no se necesita.

R1: Repensar: El diseño de procesos y uso de materiales con criterios de sostenibilidad y diseño ecológico.

R2: Reducir: Lo que se consume.

Extender la vida útil del producto y sus partes: Prolongar la vida útil y eliminar la obsolescencia programada de materiales, componentes y/o productos.

R3: Reusar: Cuando un producto puede volver a utilizarse sin necesidad de procesamiento o tratamiento.

R4: Reparar: Devolver un producto defectuoso o roto a un estado utilizable.

R5: Restaurar: Mejora de un producto haciendo que parezca nuevo sin mejoras de funcionalidad o limitadas.

R6: Remanufacturar: Devolver un producto usado por lo menos a su rendimiento original.

R7: Reutilizar: Utilizar un producto en una función para la que no fue diseñado originalmente.

Aplicación útil de materiales: Incorporar los residuos post consumo al ciclo.

R8: Reciclar: Acción de procesar un material desechado o usado, para su uso futuro.

R9: Recuperar: Recolectar materiales con la intención de evitar residuos y con el propósito de reusarlos o reciclarlos.

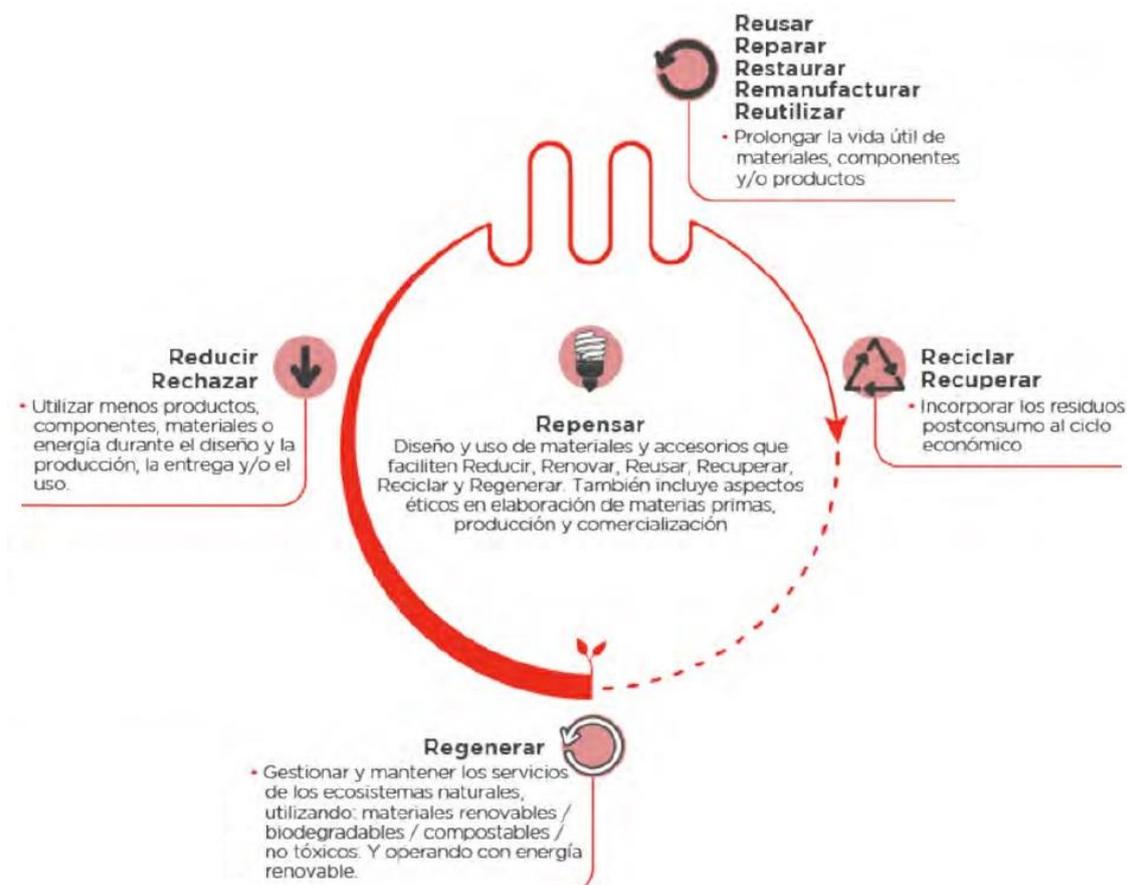


Figura 2. Opciones estratégicas con enfoque circular a seguir por las empresas
Fuente: Ciudad Saludable. Economía circular en el Perú – Guía práctica. 2022.

Opciones dentro del “Ciclo biológico”: Incluye la Regeneración, que implica mantener los ecosistemas naturales, utilizando materiales renovables/biodegradables/compostables/no tóxicos, así mismo usando energías de fuentes renovables.

Capítulo 2: Manejo de residuos sólidos en el proceso productivo del sector fundición

Realizar una gestión integral de los residuos sólidos con enfoque circular en las plantas de fundición trae una serie de beneficios para las empresas y el ambiente, por las siguientes razones:

- Al prevenir o minimizar la generación de residuos sólidos se evita o reduce el costo de su manejo interno, valorización y en última instancia el costo de la disposición final de los residuos inevitables.
- La reutilización, el reciclaje, el coprocesamiento de los residuos, permite aprovecharlos por las mismas empresas del sector u otras cadenas productivas, y evitar costos de disposición y hasta ingresos por su comercialización.
- Los residuos sólidos no aprovechables, que inevitablemente se dispondrán en rellenos o escombreras, serán mínimas cantidades a un costo también menor.

Por otro lado, las empresas al cumplir con los requerimientos de la normativa ambiental sobre residuos sólidos, evitan sanciones de posibles fiscalizaciones por la autoridad competente.

A continuación, se enumeran las obligaciones generales sobre residuos sólidos que deben cumplir los generadores no municipales³, lo cual incluye a las empresas de fundición:

Las empresas que no cuenten con IGA son responsables de:

- a) Manejar los residuos sólidos que generen, teniendo en cuenta lo establecido en el literal a) del artículo 55 del Decreto Legislativo N° 1278.
- b) Conducir el registro interno sobre la generación y manejo de los residuos sólidos en sus instalaciones.
- c) Contratar a una EO-RS para el manejo de los residuos sólidos fuera de las instalaciones industriales o productivas, áreas de la concesión o lote del titular del proyecto.
- d) Brindar las facilidades necesarias a las autoridades competentes para el adecuado cumplimiento de sus funciones.
- e) Adoptar medidas para la restauración y/o rehabilitación y/o reparación y/o compensación ambiental por el inadecuado manejo de residuos sólidos de su actividad.
- f) Establecer e implementar las estrategias y acciones conducentes a la valorización de los residuos como primera opción de gestión.

Adicionalmente a las obligaciones anteriores, las empresas que cuenten con IGA son responsables de:

³ Según el artículo 48 del Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM

- g) Presentar la Declaración Anual sobre Minimización y Gestión de Residuos Sólidos No Municipales –también denominada Declaración Anual de Manejo de Residuos Sólidos-a través del SIGERSOL.
- h) Presentar el Manifiesto de Manejo de Residuos Peligrosos a través del SIGERSOL.
- i) Asegurar el tratamiento y/o disposición final de los residuos sólidos mediante el seguimiento de las obligaciones y compromisos asumidos en el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos.
- j) Incluir el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos dentro del IGA, el cual debe considerar estrategias y acciones orientadas a la prevención y/o minimización y/o valorización de residuos sólidos.
- k) Considerar previamente en el IGA los cambios que impliquen el aprovechamiento del material de descarte proveniente de actividades productivas o realizar coprocesamiento, conforme a lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1278 y su Reglamento.
- l) En caso de que los generadores de residuos sólidos se encuentren ubicados en zonas en las cuales no exista infraestructura de residuos sólidos autorizada y/o EO-RS, deben establecer e implementar alternativas de gestión que garanticen la adecuada valorización y/o disposición final de los residuos sólidos, las cuales deben ser considerados en el IGA.
- m) Cumplir con las disposiciones establecidas en la normatividad vigente.

Veamos ahora cómo deben manejarse los residuos sólidos en las plantas de fundición en el Perú.

2.1. Identificación de los residuos

La empresa debe identificar aquellos residuos que genera, sus cantidades, características, clasificación, entre otros. Esta información se puede obtener mediante un estudio de caracterización, que analice los residuos de todos los procesos de la empresa.

2.2. Clasificación de los residuos

De acuerdo a la normativa peruana⁴ los residuos sólidos se clasifican de acuerdo sus características de la siguiente manera:

- Residuos peligrosos: Aquellos que, por sus características, o el manejo al que es, o va a ser sometido, representa un riesgo significativo para la salud o el ambiente (ver Anexo 1 de esta guía).
- Residuos no peligrosos: Aquellos que no representan un riesgo para la salud o el ambiente. En el Anexo V - Lista B: Residuos no peligrosos del D.S. N° 014-2017-MINAM se incluye una lista extensa de dichos residuos.

Los residuos también se clasifican según quién se encarga de su gestión:

⁴ D.L. N° 1278 y Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM

- Residuos municipales: Conformados por los residuos domiciliarios y los del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública. Su gestión la hacen las municipalidades.
- Residuos no municipales: Aquellos peligrosos y no peligrosos generados en actividades extractivas, productivas y de servicios. Su gestión la hacen las propias empresas generadoras, en el presente caso las fundiciones.

2.3. Flujos de los procesos de la industria de fundición

Las industrias de fundición se clasifican como ferrosas y no ferrosas:

- Fundiciones ferrosas: Usan como insumo básico la chatarra de acero, que es el residuo más reciclado en el mundo y puede serlo un número ilimitado de veces sin perder mucha calidad.
- Fundiciones no ferrosas: Usan como insumos básicos varios metales, para cada tipo de fundición, como el aluminio, el cobre, el magnesio, el plomo, el estaño, el zinc y el níquel, de los cuales el aluminio es el material más reciclado.

Las fundiciones ferrosas son las de mayor producción en el Perú. En la **Figura 3** se muestra un diagrama de flujo de entradas y salidas de materiales en el proceso de fundición ferrosa, y a continuación se explica brevemente las etapas de dicho proceso, siendo similar en el caso de las fundiciones no ferrosas, lo cual se acota cuando corresponda.

En pocas palabras el proceso parte de un material metálico de composición adecuada que se funde en un horno y luego se vierte en un molde con la forma deseada, luego del desmoldeo, se procede a la mecanización final de la pieza y a su tratamiento térmico, siendo finalmente embalado el producto final.

Recepción de materias primas e insumos:

Se recibe la chatarra y aleaciones de hierro en un patio de chatarra, donde se realiza la selección y la reducción de tamaño mediante soldadura, oxicorte y cizalla, según se requiera, operaciones que producen emisiones de gases, humos, polvo y ruido. Luego el metal cortado convenientemente se traslada en montacargas hacia los hornos para su fundición.

También se reciben otros insumos para el proceso de fundición como arenas, resinas, químicos, fundentes, maderas para embalaje. Estos materiales, en gran parte envasados, producen residuos sólidos de envases, bolsas, restos de madera, etc.

En las fundiciones no ferrosas las materias primas principales son las barras de metales de alta pureza, en algunos casos chatarra del metal correspondiente y adiciones para la fundición.

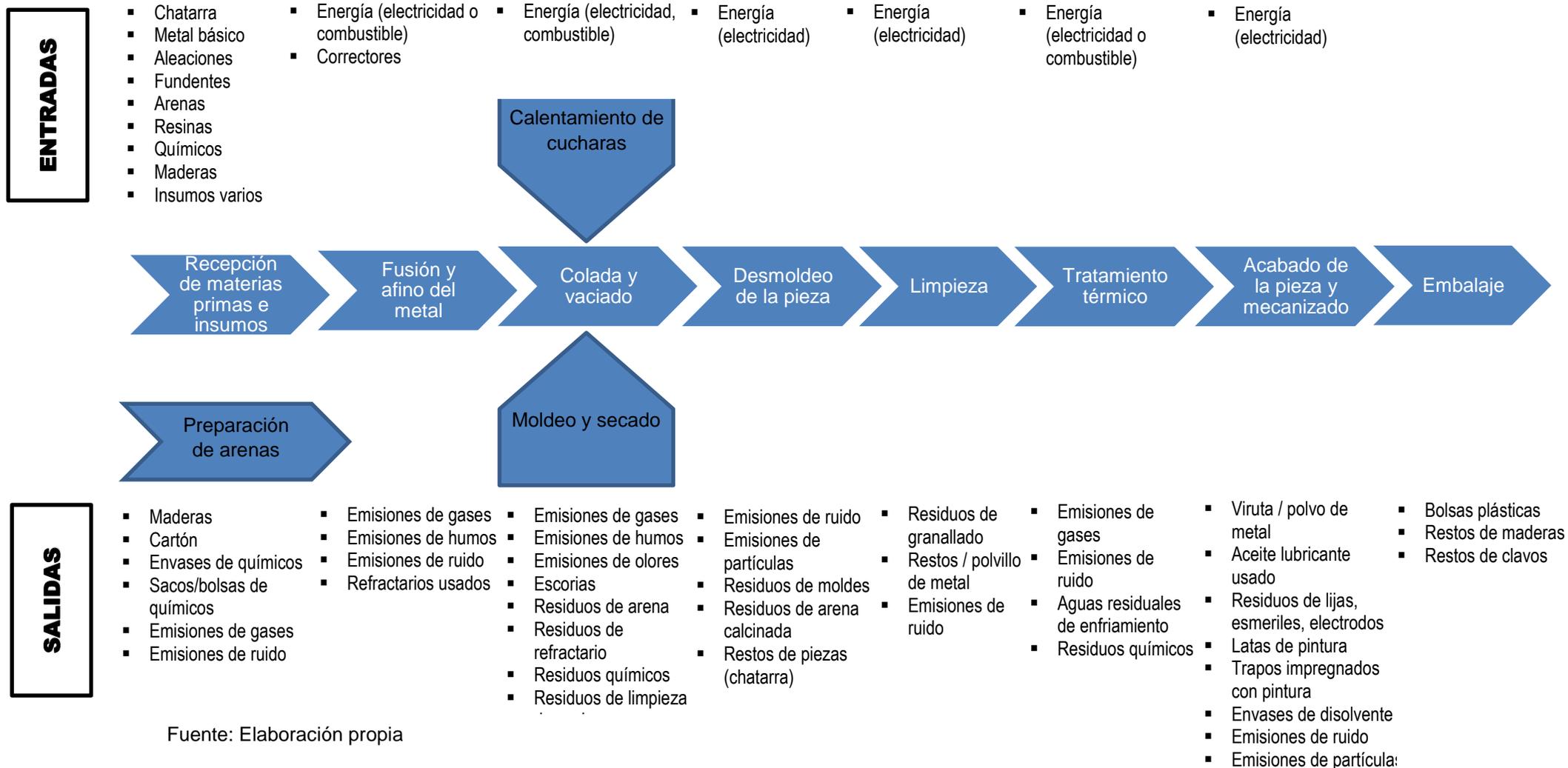


Figura 3. Entradas y salidas de materiales en el proceso de la industria de fundición

Fusión y afino del metal:

El metal y/o la chatarra se carga en los hornos en forma manual y también con teclé. En el Perú usualmente se emplea cuatro tipos de hornos para fundición de metales en función del metal y la cantidad de carga a fundir (ver detalles en la **Tabla 1**):

- Fundición ferrosa: hornos de inducción y hornos de arco. Antiguamente se usaba el horno de cuba.
- Fundición no ferrosa: hornos de crisol, hornos de reverbero, hornos de eje.

Típicamente la chatarra ferrosa se funde a una temperatura entre 1350 a 1600°C en función de la composición del producto, con un tiempo de fusión de 1.5 a 2 horas. Otros metales se funden a menor temperatura tales como 1083°C (cobre), 420 °C (zinc), 657°C (aluminio), 232°C (estaño).

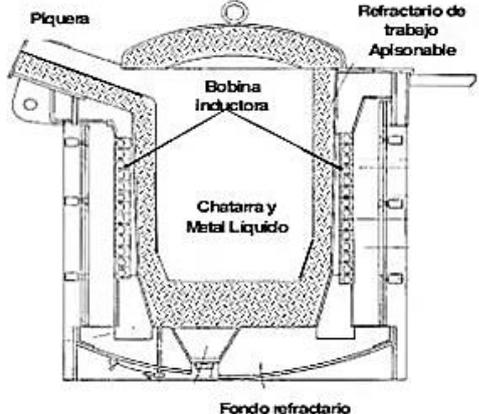
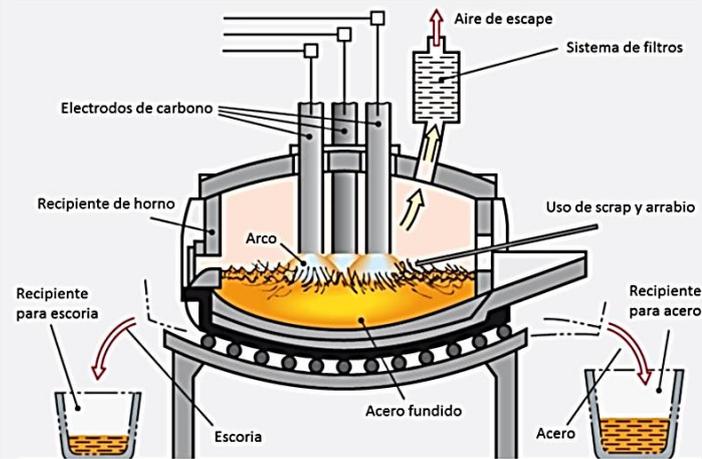
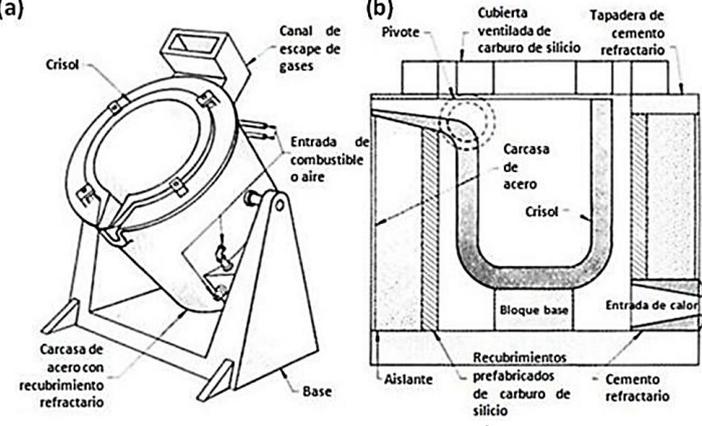
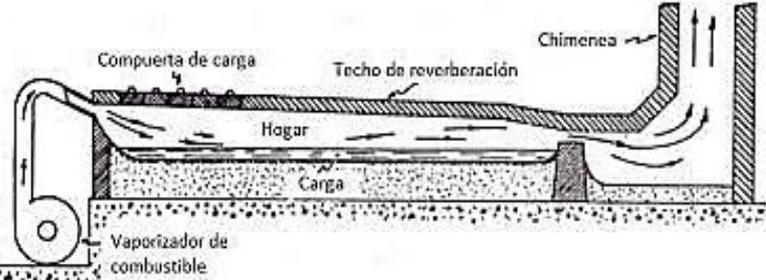
Antes de la colada se toma una muestra del metal fundido (cupón) para su análisis inmediato en laboratorio, en función de lo cual se añade correctores, hasta lograr la composición deseada.

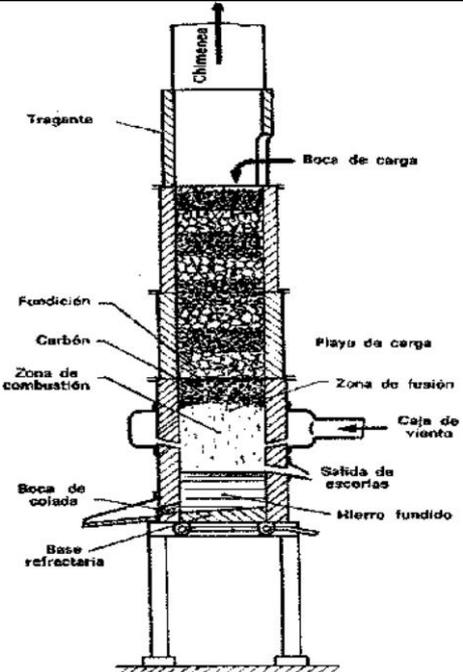
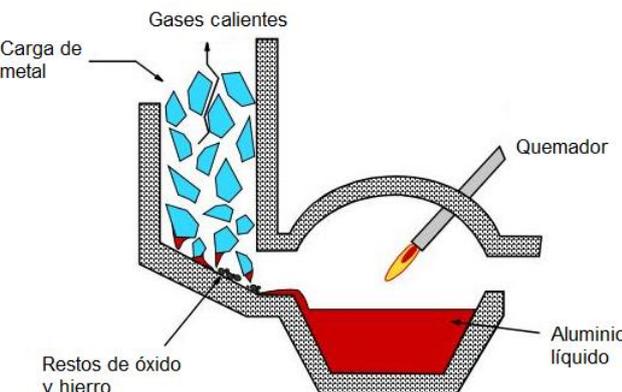
En la superficie del metal fundido se forma una escoria que debe ser eliminada antes de la colada y evitar que llegue al molde, para lo cual se adiciona caliza que reacciona con las impurezas y las funde a baja temperatura para así removerlas. Las escorias conforman un residuo sólido.

Los hornos de fusión son una importante fuente de emisiones de gases y partículas a la atmósfera, ya sea a través de chimeneas o como emisiones fugitivas:

- Emisiones de gases de combustión como los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y partículas (hollín) en los quemadores de combustibles (gas, diésel, etc.) que emplean los hornos de crisol y de reverbero, las cuales se descargan por chimeneas a la atmósfera.
- Emisiones de partículas en la forma de humos, por la oxidación de vapores de metales o la condensación de los vapores de metales, los cuales son emitidos fugitivamente a la atmósfera por bocas de alimentación, en la transferencia en cucharas o en la colada.
- Emisiones de contaminantes orgánicos persistentes no intencionales (COP-NI) que son compuestos químicos órgano halogenados, como dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF), clorobenzenos y bifenilos policlorados (PCB). Se producen de forma no intencional en los hornos durante la fundición de chatarra que puede estar contaminada con aceites, grasas, recubrimientos, pinturas, etc. y haber presencia de cloro en algún material junto con la chatarra. Los COP-NI cuando se liberan persisten en el medio ambiente, se acumulan en organismos vivos y plantean un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Tabla 1. Tipos comunes de hornos de fundición en el Perú

<p>HORNOS DE INDUCCIÓN: Utilizan la inducción electromagnética para calentar el metal. El horno incluye una bobina de cobre para crear un campo magnético que genera una corriente eléctrica en el metal que provoca su calentamiento hasta fundirlo. Son muy eficientes y se utilizan para fundir metales como el acero, el hierro y el aluminio. Tienen una eficiencia energética que varía entre 50 al 76%, dependiendo mucho del metal.</p>	
<p>HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO: Utilizan un arco eléctrico para calentar el metal. El horno incluye dos electrodos por los que circula corriente eléctrica creando un arco entre ambos, generando intenso calor que funde el metal. Son muy versátiles y se utilizan para fundir una amplia variedad de metales, desde acero inoxidable hasta titanio. Tienen una eficiencia energética del 35 al 45%</p>	
<p>HORNOS DE CRISOL: Los hornos de crisol son hornos de combustión directa que utilizan un crisol para contener el metal y un quemador para proporcionar el calor necesario. Estos hornos son adecuados para fundir metales como el aluminio, el bronce y el latón. Son fáciles de usar y ofrecen un buen control de la temperatura. Tienen una eficiencia energética muy baja de solo 7 al 19%.</p>	
<p>HORNOS DE REVERBERO: Utilizan la radiación de las paredes del horno para calentar el metal que se coloca en el hogar del horno, siendo las paredes calentadas por una llama de combustión. Se usan para fundir metales como el cobre, aluminio, el plomo y el estaño. Tienen una eficiencia energética baja de 20 al 25%.</p>	

<p>HORNOS DE CUBA: Los hornos de cuba (también llamados de cubilote) son de construcción cilíndrica con una cubierta exterior de acero y recubiertos interiormente con ladrillos refractarios, pudiendo llegar hasta una altura de 6 m. El horno se carga con capas de carbón o coque y el metal (lingotes o chatarra) lo que permite un buen intercambio de calor por el contacto directo. El aire para la combustión del carbón es suministrado por un ventilador a través de una caja de viento. Tiene una abertura en la parte baja llamada boca de escorias y otra más baja para la colada por donde sale el metal fundido. Hay cubas donde se utiliza gas como combustible. Presentan la eficiencia más alta de todos los hornos, normalmente del 40 al 45 %.</p>	
<p>HORNOS DE EJE: Los hornos de eje sólo se utilizan para fundir metales no ferrosos, principalmente aluminio. Se trata de un horno vertical sencillo con solera colectora (dentro o fuera del horno) y sistema de quemadores de gas en el extremo inferior, y sistema de carga de material en la parte superior. Los gases de combustión normalmente se extraen y depuran. Puede alcanzar una eficiencia térmica del 50%</p>	

En muchos casos la contaminación ocurre cuando en la planta no se cuenta con sistemas de captación y depuración de partículas, tales como campanas de extracción, ciclones, filtros de mangas o lavadores de gases (scrubbers).

Los hornos de fusión también emiten ruido al ambiente, especialmente los hornos de arco durante la descarga eléctrica; asimismo los hornos de inducción producen ruido de alta frecuencia. Otras fuentes de ruido son los ventiladores de los hornos de crisol y de reverbero.

Como residuo principal de los hornos de fusión, son los refractarios usados que deben retirarse cada cierto tiempo.

Preparación de arenas:

La preparación de la arena se realiza en un molino en el cual se añaden tanto la arena como el agua y el resto de los componentes que se estimen (arcilla o

bentonita, resina, catalizador, etc.) y se remueve la mezcla hasta que adquiere el tamaño de grano y el nivel de consistencia deseado. El movimiento de los materiales granulados producen emisiones de partículas fugitivas al ambiente.

El funcionamiento mismo del molino y los accionamientos mecánicos del sistema, producen emisiones de ruido hacia el ambiente.

Dado que se emplean diversos aditivos en la preparación de la arena, se generan residuos sólidos de los envases de dichos insumos.

Moldeo y secado:

Primero se construyen los modelos de la pieza con madera, que son utilizados para la elaboración del molde donde se vaciará el metal líquido para obtener la pieza fundida. Luego la arena preparada se vierte y compacta alrededor del modelo dentro de una caja, dejándose secar. Se genera el molde con la cavidad que tiene la forma y tamaño de la pieza a producir. El molde se protege con pintura refractaria para evitar el arrastre de la arena durante el vertido del metal líquido. Este tipo de moldes son transitorios y se usan una sola vez.

Los procesos de formación de moldes y machos son diferentes y generalmente se dividen en dos categorías principales: (i) moldeo en arena verde, que implica el uso de arena mezclada con un aglutinante adecuado (generalmente arcilla de bentonita), aditivos carbonosos y agua; (ii) moldeo en arena químicamente aglomerada, que consiste en el uso de arenas y compuestos químicos como resinas fenólicas de uretano, resinas de fenólicas de formaldehído, furano.

En el caso de fundiciones no ferrosas, donde los puntos de fusión del metal son más bajos que el hierro, muchas veces se emplean moldes permanentes de hierro fundido o acero, los cuales pueden reusarse muchas veces.

En el moldeo con arena se producen emisiones de olores por desprendimiento de gases/vapores de las resinas aglomerantes, en la aplicación de recubrimientos y pinturas, así como en el curado de las mezclas de arena con resinas por aire, calor o gas.

También se producen residuos de envases de los productos químicos usados en el moldeo, residuos de limpieza de moldes y de materiales usados.

Calentamiento de cucharas:

La cuchara revestida de refractario donde se recibirá el metal fundido debe ser calentada previamente para que el metal caliente no se enfríe demasiado antes de llevarlo a los moldes.

Por lo general el calentamiento de la cuchara se realiza con una llama de gas hasta una temperatura de unos 1000 °C. La combustión del gas produce emisiones como NO_x y CO principalmente que se liberan en forma abierta a la atmósfera.

Colada y vaciado:

Una vez vertido el metal fundido en la cuchara refractaria, se transporta hasta los moldes ubicados a corta distancia del horno, donde se vierte el metal a través de alimentadores, adoptando la forma de la cavidad del molde, donde el metal permanece entre 24 a 48 horas.

Al verter el metal fundido en los moldes, que contienen aditivos para ligar la arena, se generan productos de reacción y descomposición tanto inorgánicos como compuestos orgánicos volátiles (VOC), incluso durante el enfriamiento de los moldes, los cuales se liberan a la atmósfera. Los VOC, combinados con los NOx emitidos por otras fuentes, pueden contribuir a la formación de smog, un tipo de contaminación que afecta negativamente la calidad del aire y puede tener efectos perjudiciales en la salud humana y en los ecosistemas.

Desmoldeo de la pieza:

El desmoldeo de las piezas fundidas se realiza con la separación de las arenas del molde de las piezas metálicas mediante vibración o impacto.

Se realizan cortes para eliminar las entradas y canales de alimentación de la pieza y las mazarotas, usándose para ello soplete, golpes con martillo, electrodos de arco-aire.

Las piezas fundidas seguirán el resto del proceso, y las arenas del molde se destinarán a recuperación o constituirá un residuo, dependiendo si se cuenta o no con equipos de recuperación.

Durante el desmoldeo se producen emisiones de partículas por el impacto en el desmoldeo de la pieza fundida, además de emisiones de ruido al ambiente, También se siguen produciendo emisiones residuales de VOC hacia la atmósfera.

El sistema de recuperación de arena consiste de una zaranda (separación primaria), donde se alimenta los trozos de moldes, y luego por un equipo donde se logra la separación de la arena reutilizable gruesa, de la arena con granulometría fina. La arena de granulometría gruesa vuelve a emplearse en el proceso, mientras que la de granulometría fina es separada y almacenada como residuo sólido. Dicho sistema produce emisiones de partículas (captadas en filtros) y emisiones de ruido al ambiente.

Limpieza:

Las piezas fundidas en estado bruto se recogen y se introducen en una granalladora, donde se eliminan restos de arena adheridos a las piezas. Dicha operación produce emisiones de ruido al ambiente y también residuos del material del granallado ya gastado, así como residuos de polvillo de metal.

Tratamiento térmico:

La pieza fundida en bruto puede ser sometida a un tratamiento térmico (normalizado, recocido, temple o revenido) que en el caso de metales ferrosos es entre 750 a 1000°C por varias horas con el fin de alcanzar las características mecánicas de resistencia, dureza y tenacidad del metal. Se emplea hornos de calentamiento a gas natural o eléctricos. Luego del tratamiento térmico, las piezas son enfriadas en pozas de agua o con chorros de aire.

En los hornos de tratamiento térmico que queman gas se producen emisiones de gases de combustión, principalmente NOx y CO que se descargan por chimenea a la atmósfera. También hay emisiones de ruido en el caso de los ventiladores de los quemadores de los hornos de tratamiento térmico.

En el caso de enfriamiento de piezas tratadas en pozas de agua, eventualmente se cambian y se producen aguas residuales hacia el alcantarillado. Asimismo, las torres de enfriamiento producen purgas que van hacia el alcantarillado.

Acabado de la pieza:

En función del tamaño de la pieza, se realizan operaciones de corte, desbaste (eliminación de rebabas mediante oxicorte y cincelado) y esmerilado para conseguir las dimensiones requeridas; asimismo, se realizan reparaciones mediante soldadura.

Dichas operaciones de acabado producen emisiones de ruido por el uso de herramientas diversas, así como emisiones de partículas por el impacto y desgaste de superficies. Se producen una serie de residuos de metal (aprovechable), residuos de lijas, esmeriles usados, electrodos de soldadura de relleno de piezas, latas, restos de pintura, envases de disolventes, trapos, entre otros.

Mecanizado:

Cuando la pieza lo requiere, se somete a un mecanizado realizando trabajos de corte de metales, tales como: torneado, taladrado, fresado, escariado, roscado, brochado, rectificado, pulido, cepillado, corte y conformado. Se aplican fluidos (agua, aceites, etc.) para facilitar el corte.

Se producen emisiones de ruido por el mecanizado de piezas, asimismo residuos como viruta, aceite lubricante usado.

Embalaje:

Las piezas terminadas se embalan usando envolturas de plástico y se despachan dentro de cajas de madera que se ensamblan en el sitio de acuerdo a las dimensiones de las piezas. En este caso se producen residuos de bolsas plásticas, restos de madera de embalaje y clavos deformados.

2.4. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares de importancia para el proceso en una fundición son los siguientes:

Suministro de electricidad: dado por la empresa distribuidora local o directamente por el generador, en función de la potencia contratada.

Suministro de combustibles: pudiendo ser Diésel B5, GLP o gas natural en función de las necesidades o disponibilidad en la zona de la planta, abastecidos por un distribuidor. Los dos primeros se almacenan en tanques y el gas natural se suministra por red.

Suministro de agua: la fuente puede ser agua de pozo o agua de red, en función de la disponibilidad local. Se almacena en tanques.

Suministro de aire comprimido: se genera en compresores de aire instalados en una sala de máquinas de la propia planta y distribuido por red interna.

Ventilación y tratamiento de gases: conformado por un conjunto de dispositivos que se utilizan para controlar la emisión de gases y partículas al ambiente durante el proceso de fundición. Los sistemas de ventilación se encargan de extraer los gases y partículas generados en los hornos y otras máquinas o puntos de operaciones del proceso de fundición, y transportarlos a través de conductos hasta los equipos de tratamiento de gases para depurarlos antes de liberarlos al ambiente. Los sistemas de ventilación y tratamiento de gases pueden incluir campanas de extracción, ventiladores, ciclones, filtros de mangas, lavadores de gases o Scrubbers.

2.5. Clasificación de residuos en el proceso de la industria de fundición

En la industria de fundición, los residuos provienen de las diferentes etapas del proceso de producción, pero también del mantenimiento de los equipos e instalaciones de planta. En la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* se muestra las entradas y salidas de materiales en el proceso de la industria de fundición, incluyendo también los residuos sólidos que se generan así como las emisiones hacia el ambiente. En cuanto a los residuos típicos que pueden generarse en las fundiciones, se incluyen los siguientes:

Residuos no peligrosos:

- Arenas que no pueden ser reingresadas
- Machos de arena de moldes
- Escoria de fundición
- Refractarios usados
- Residuos de limpieza de cucharas
- Residuos de cartón, plástico, papel, madera, triplay.
- Residuos orgánicos (restos de alimentos, poda jardines, etc.)
- Lijas usadas
- Esmeriles usados

- Restos de electrodos
- Lodo de planta de tratamiento de aguas residuales
- Lodo de lavador de gases
- Polvo recuperado en ciclones y filtros de mangas
- Residuos de limpieza, áreas administrativas y servicios higiénicos
- RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)

Residuos peligrosos:

- Envases y sacos de productos químicos
- Latas de pintura y químicos
- Sacos/bolsas de químicos
- Residuos químicos
- Aceite lubricante usado
- Aceites y grasas
- Trapos, waype, aserrín, papeles contaminados.
- Baterías usadas
- Tóner de impresoras
- Fluorescentes

Potencial material de descarte:

- Viruta metálica
- Cascarilla metálica
- Polvillo metálico
- Piezas metálicas no reutilizables

En la **Tabla 2** se incluye un ejemplo de una fundición mediana del Perú en cuanto a la cantidad de residuos sólidos que genera, siendo el residuo de arena de moldeo el más importante.

Tabla 2. Cantidad de residuos sólidos generados en una fundición mediana

Residuo	Cantidad (Ton)	%	Nota
Residuos peligrosos	48.54	1.98	Plástico contaminado, metales contaminados, EPPs, material contaminado diverso.
Residuo no peligroso (arena)	2,063.89	84.34	Residuo de arena de moldes.
Residuos aprovechables	326.06	13.32	Cartón, plástico, papel, viruta, escoria, chatarra, madera en desuso, totems, cilindros, aceite, baterías.
Residuos no municipales similares a los municipales	8.65	0.35	
Total	2447.14	100.00	

Fuente: HIDROSTAL (2022)

En el **Anexo 2** de esta guía se incluye, a modo de ejemplo, unas fichas técnicas para los residuos de arena y madera en desuso.

Por otro lado, en el **Anexo 3** se incluye, a modo de sugerencia, formatos para el registro de información de generación y disposición de los residuos sólidos que se generen en planta, para tener un mejor control de su producción.

2.6. Alternativas de valorización de los residuos sólidos de la industria de fundición

a) Residuos de arena de fundición

Las fundiciones compran grandes cantidades de arena virgen para la elaborar moldes y machos necesarios para la fusión del metal; estos moldes y machos no son reutilizables, pero la arena que los compone si se pueden reutilizar en el ciclo de moldeo siguiendo ciertos procesos físicos y químicos. Sólo cuando la arena ya no cumple ciertos requisitos físicos y químicos para el moldeo, se elimina del proceso convirtiéndose en residuo.

Aproximadamente 100 millones de toneladas de residuos de arenas de fundición (RAF) se generan anualmente en todo el mundo por la industria de la fundición⁵ y representa alrededor del 80% de los residuos producidos por las industrias de fundición, y su disposición implica altos costos. En muchos casos, las fundiciones recurren a laboratorios acreditados para realizar análisis químicos y ambientales para determinar la naturaleza de los residuos (peligrosos o no) y su posible reutilización o eliminación en un relleno para residuos inertes o no peligrosos (según normativa nacional). Cuando es necesario, en las plantas de recuperación se realizan tratamientos físicos (tamizado, remoción de hierro) y químicos (calcinación para eliminar resinas), que mejoran las características de los RAF, y lo adecuan a los requerimientos del usuario final.

De acuerdo a la experiencia japonesa⁶, por ejemplo, las principales opciones para la reutilización de los RAF son:

- Relleno de construcción.
- Sub base de carreteras.
- Lechadas y morteros.
- Preparación de suelos especiales.
- Elaboración de macetas.
- Fabricación de cemento.
- Productos de concreto prefabricado.
- Barreras de carretera.
- Camas para tuberías enterradas.

⁵ Cioli, F.; Abba, A.; Alias, C.; Sorlini, S. *Reuse or Disposal of Waste Foundry Sand: An Insight into Environmental Aspects*. Applied Sciences. 2022,12.

⁶ JICA. (Agosto 2023). *Waste Management Guidebook with Best Practices in Chemical, Food Processing, Foundry and Pulp & Paper Industries*. Recuperado de: [chrome-extension://efaindbmnnibpcajpcglcfindmkaj/https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11758562_10.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11758562_10.pdf)

- Preparación de asfalto.
- Bóvedas de cementerio.
- Ladrillos y adoquines.
- Cobertura para rellenos sanitarios.

Los RAF por lo general muestran un bajo potencial de lixiviación de metales. Se pueden superar los valores límite en el caso de arenas con alto contenido de aglomerantes orgánicos o con aditivos específicos, como el carbón brillante.

Debido a su alto contenido de cuarzo y granulometría adecuada, la arena usada puede reemplazar a la arena virgen en la construcción de carreteras. Su aplicación en la fabricación de materiales de construcción (hormigón, ladrillos, tejas, lana de vidrio, etc.) es técnicamente factible, pero requiere un mayor nivel de control de composición y logística. Las aplicaciones a escala industrial que han resultado exitosas en Europa son:

- Bases de carreteras.
- Material de relleno.
- Material de drenaje.
- Elementos de concreto.
- Producción de cemento (en Alemania esta aplicación es de gran importancia).
- Relleno de cavidades mineras (tiene buena capacidad de soporte).
- Cobertura final de rellenos de residuos.
- Material de construcción para el refuerzo de diques.
- Vitrificación de residuos peligrosos.

En la **Tabla 3** se incluye un resumen de las aplicaciones para los diferentes tipos de arena usada a reutilizar.

Tabla 3. Aplicaciones de reutilización de la arena usada

RESUMEN DE APLICACIONES DE RECICLAJE	ARENA					
	Arena verde	Fenólica alcalina	Fenólica uretano	Furano	Casco de resina	Silicato sódico
Usos en construcción						
Asfalto	X	X	+	+	+	O
Fabricación de bloques	+	X	+	+	X	+
Fabricación de ladrillos	X	X	+	+	+	
Cemento	X	X	+		X	X
Concreto		X	+	+	+	
Sustituto de agregado fino	X	X	+	+	+	+
Concreto celular, etc.	X	X	+			
Aislante/mineral/vidrio	+	+	+	+	+	+
Producción de mortero						+
Construcción de base de carretera		X	+		+	X
Filtro de techumbre				X		
Reciclaje en otra fundición						
Adición de arena verde				X		
Usos por tipo de suelo						
Topsoil artificial	X	+	+	X	+	
Relleno - tapado	X	X	+			

Relleno - cobertura diaria	x	x	+	x	x	x
Relleno - revestimiento	+					
Modificador/mejorador de suelo	+	+	+	+	+	+
Usos misceláneos						
Medio abrasivo/arenado		x	+			
Adiciones de fundición		+	+		+	+
Vitrificación de residuos	+	+	+		+	+
x Aplicación probada, con proyectos exitosos en el Reino Unido. + Aplicación que ha sido probada en teoría, pero no se está ejecutando ningún proyecto en el Reino Unido. O No apto para su reciclaje en forma no tratada.						

Fuente: The Castings Development Centre, 1999. TWG, 2002

Otros campos de aplicación son la fabricación de ladrillos, la fundición secundaria de cobre y la recuperación de zinc.

En general se puede decir que la arena usada no suele requerir ningún tratamiento previo, tan solo su acopio y almacenamiento por separado para su eitransporte hasta el destino final. Más bien, podría ser necesario un control de calidad de la arena usada mediante análisis periódicos.

En el caso del Perú, el D.S. N° 014-2017-MINAM, Anexo V - Lista B: Residuos no peligrosos, incluye una lista extensa de los residuos que no están definidos como peligrosos, provenientes de diferentes actividades. En el caso de las industrias de fundición de metales, dicho anexo no menciona explícitamente a los RAF, por lo que en determinados casos y aplicaciones sería necesario determinar su no peligrosidad.

b) Material de descarte

Constituye material de descarte de la propia planta que puede ser aprovechado en otras plantas, tales como:

- Viruta metálica del acabado y mecanizado de piezas, no aprovechable en la propia planta por estar mezclada con lubricante o proceder de otro metal distinto.
- Cascarilla metálica mezclada con arena.
- Polvillo metálico recuperado en ciclones o filtros de mangas.
- Piezas metálicas no reutilizables, del mantenimiento de maquinaria o repuestos usados.



Figura 4. Viruta mezclada como material de descarte

2.7. Manejo de los residuos sólidos

De acuerdo a la normativa aplicable⁷ los generadores de residuos sólidos no municipales, en este caso las industrias de fundición, deben realizar una serie de operaciones para el manejo adecuado de los residuos sólidos, tal como se explica en los acápite que siguen a continuación.

2.7.1. Minimización

El primer paso en la gestión de los residuos sólidos es la minimización o prevención de generación de los residuos frente a cualquier otra alternativa. Para ello existen algunas estrategias que las empresas de fundición pueden aplicar, tales como implementar sistemas de producción más eficientes, realizar cambios tecnológicos o modificar el diseño de los productos que incorporen estrategias o medidas de economía circular. A continuación, se enumeran algunos ejemplos de medidas que las fundiciones pueden aplicar:

Recuperación de arenas de moldes:

Las técnicas modernas de preparación y regeneración de arenas de moldeo permiten alcanzar tasas de reutilización superiores al 90%, con lo cual se logra minimizar los residuos de arena y los costos de producción por reducir las compras de arena virgen.

Optimización del proceso:

Implementar simulaciones por computadora para modelar el proceso de fundición y ajustar parámetros antes de la producción para minimizar defectos y la necesidad de re-trabajos.

⁷ Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Decreto Legislativo N° 1501, que modifica el D.L. N° 1278.

Reciclaje de chatarra:

Utilizar chatarra metálica reciclada en la fundición de metales, reduciendo la necesidad de extraer minerales y procesarlos para obtener metales puros, minimizando así la generación de residuos de extracción. En realidad, esto es muy común en las plantas de fundición, pero además está el re-procesamiento interno de mermas de producción (mazarotas, recortes, piezas defectuosas, etc.).

Control de inventario:

Establecer un sistema de seguimiento en tiempo real para monitorear los niveles de inventario y programar la producción en función de la demanda real, evitando la acumulación innecesaria de material.

Procesos de colada eficientes:

Implementar tecnologías de colada bajo vacío para minimizar la formación de porosidades en las piezas, lo que reduce la cantidad de piezas defectuosas y la necesidad de desecharlas o re-procesarlas.

La colada bajo vacío se aplica principalmente en metales y aleaciones (aluminio, magnesio, cobre y bronce, entre otros) que son sensibles a la presencia de gases disueltos y que pueden formar porosidades y defectos internos durante el proceso de fundición. Implica realizar el vertido de metal fundido en un molde que se encuentra en una cámara de vacío o en un ambiente de baja presión.

Tecnologías de filtrado y separación:

Implementar sistemas de recuperación de partículas de polvo de metal (campanas colectoras, ciclones, filtros de mangas, etc.) generadas durante la fundición, para reutilizarlas en la mezcla de carga.

Entrenamiento y mentalización:

Organizar sesiones de capacitación para los trabajadores sobre la importancia de la reducción de residuos, instruyéndolos en prácticas de manejo adecuado y promoviendo la cultura de minimización de residuos.

Cumplimiento normativo:

Asegurarse de que los residuos generados estén etiquetados y almacenados correctamente de acuerdo con las regulaciones locales y nacionales.

Inspecciones regulares:

Realizar inspecciones periódicas de las áreas de trabajo para identificar oportunidades de mejora en la gestión de residuos y garantizar que se estén siguiendo las prácticas adecuadas.

2.7.2. Segregación

Mediante la segregación de los residuos sólidos en la fuente es posible separar los residuos generados según su naturaleza física, química y biológica, así como las características de peligrosidad, de tal manera que se puedan almacenar y acondicionar en forma diferenciada y entregarlos así a los operadores de residuos sólidos autorizados o asociaciones de recicladores formalizados en el marco del Programa Recicla, garantizando así su valorización o disposición final.

Es necesario realizar una caracterización de los residuos en la planta para obtener información que permita dimensionar y seleccionar los recipientes (cilindros, tachos o contenedores) que albergaran temporalmente los residuos, considerando lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019 Gestión de Residuos, código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos.

En tal sentido, se debe determinar lo siguiente:

- Volumen y peso de los residuos, naturaleza y características de peligrosidad.
- Cantidad de recipientes a ubicar en los puntos de generación de acuerdo al residuo generado en cada punto.
- Tipo de material de los recipientes: metal, plástico u otro especial.
- Tamaño de los recipientes: en función del volumen de residuos a almacenar.
- Rotulación de los recipientes: en base a su contenido.

Para el caso de la industria de fundición los residuos sólidos pueden segregarse en recipientes de colores tal como se indica en el Tabla 4 a modo de ejemplo.

Tabla 4. Segregación de residuos sólidos de fundiciones en recipientes de colores

Tipo de residuo	Color del recipiente ⁽¹⁾	Ejemplos de residuos	Potencial de valorización
Papel y cartón	Azul	Papel y cartón diversos, siempre que no estén contaminados con químicos o aceites y grasas.	Alto
Plástico	Blanco	Plásticos de envases, bolsas, envoltorios, contenedores y otros artículos de plástico.	Alto
Metales	Amarillo	Piezas de metal no ferroso inservibles, envases no contaminados y otros artículos de metal.	Alto
Orgánicos	Marrón	Restos de alimentos, poda jardines, madera, etc.	Bajo
Vidrio	Plomo	Envases de vidrio, vidrios de ventanas, entre otros.	Alto
Peligrosos	Rojo	Envases y sacos de productos químicos, latas de pintura y químicos, sacos/bolsas de químicos, residuos químicos, aceites y grasas, trapos, waype, aserrín, papeles contaminados, baterías usadas, toners de impresoras, fluorescentes.	Bajo
No aprovechables	Negro	Escorias, refractarios usados, residuos de limpieza de cucharas, lijas usadas, esmeriles usados, restos de electrodos, lodos	Bajo
Residuos de arena de fundición (RAF)	Naranja ⁽²⁾	Arenas no aprovechables de los moldes	Alto

⁽¹⁾ Según NTP 900.058:2019. El código de colores deberá ser utilizado en los recipientes de almacenamiento de residuos sólidos, o en las etiquetas que identifiquen al residuo.

⁽²⁾ Este color no está incluido en la NTP 900.058:2019, y es opcional para el residuo en particular.

Fuente: Elaboración propia

2.7.3. Almacenamiento

El almacenamiento de los residuos sólidos debe realizarse en forma segregada, en espacios exclusivos para tal fin, considerando su naturaleza y características de peligrosidad, incompatibilidad con otros residuos y las reacciones que puedan ocurrir con el material de recipiente que lo contenga, con la finalidad de evitar riesgos a la salud y al ambiente.

Existen tres tipos de almacenamiento de los residuos sólidos en planta:

- Almacenamiento inicial temporal de residuos: Se realiza en forma inmediata en el ambiente de trabajo, para su posterior traslado al almacenamiento intermedio o central.
- Almacenamiento intermedio temporal de los residuos provenientes del almacenamiento inicial: Se realiza en espacios distribuidos estratégicamente dentro de la planta. Es opcional en función del volumen generado, frecuencia de traslado de residuos y las áreas disponibles para su implementación.
- Almacenamiento central: Es el punto a donde se llevarán los residuos de los puntos inicial y/o intermedio, según corresponda, y desde donde los residuos serán recogidos por el operador de residuos autorizado hacia el lugar de valorización o disposición final.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de almacenamiento temporal en recipientes de colores según los residuos generados en el punto de generación correspondiente, denominado “Punto ecológico” o también “Punto limpio” en la planta.



Figura 5. Recipientes de almacenamiento temporal de residuos



Figura 6. Contenedor con arena residual de moldeo

Por otro lado, en la Figura 7 se muestra ejemplos de instalaciones para el almacenamiento central final de residuos sólidos dentro de la planta, los cuales cuentan con la infraestructura y los implementos necesarios para acondicionar y

almacenar en forma segura, sanitaria y ambientalmente adecuada, los residuos según lo requiere la normativa.

Para el caso de los residuos peligrosos el almacén central debe contemplar lo siguiente:

- El área debe estar techada y acondicionada, ubicada a una distancia determinada teniendo en cuenta el nivel de peligrosidad del residuo, su cercanía a áreas de producción, servicios, oficinas, almacenes, entre otros.
- Distribuir los residuos sólidos peligrosos de acuerdo con su compatibilidad física, química y biológica, con la finalidad de controlar y reducir riesgos.
- Contar con sistemas de impermeabilización, contención y drenaje acondicionados y apropiados, según corresponda.
- Contar con pasillos o áreas de tránsito que permitan el paso de maquinarias y equipos, desplazamiento del personal de seguridad o emergencia. Los pisos deben ser de material impermeable y resistente.
- En caso se almacenen residuos que generen gases volátiles, se debe tener en cuenta las características del almacén establecidas en el IGA, según ello, se deber contar con detectores de gases o vapores peligrosos con una alarma audible.
- Contar con señalización en lugares visibles que indique la peligrosidad de los residuos sólidos.
- Contar con sistemas de alerta contra incendios, dispositivos de seguridad operativos y equipos, de acuerdo con la naturaleza y peligrosidad del residuo.
- Contar con sistemas de higienización operativos.
- El tiempo de almacenamiento de los residuos sólidos peligrosos no podrán superar los doce (12) meses.



Figura 7. Instalaciones de almacenamiento central de residuos sólidos no peligrosos y peligrosos

2.7.4. Transporte de residuos sólidos

Transporte interno:

El traslado interno de los residuos sólidos al almacenamiento intermedio o central, según sea el caso, se realizará utilizando vehículos apropiados, considerando la frecuencia de recojo de los residuos establecidos para cada caso.

Transporte externo:

Para el caso de los residuos no aprovechables y peligrosos, las empresas deben gestionar el traslado a través de empresas operadoras de residuos sólidos (EO-RS), autorizadas por el MINAM. Asimismo, en el caso de los residuos similares a los municipales, estos pueden ser entregados al servicio municipal de su jurisdicción, siempre y cuando se encuentre dentro de la cobertura del servicio y no exceda los 145 kg diarios, en caso se exceda esta cantidad, la municipalidad podrá cobrar un costo diferenciado por su manejo.

Para el caso de los residuos con alto potencial de valorización, éstos deben ser transportados para su valorización a través de una EO-RS o Asociaciones de recicladores formalizados⁸, siempre y cuando sean residuos no peligrosos y similares a los municipales.

Los recicladores formalizados sólo podrán hacer recolección de los residuos sólidos no peligrosos de tipo inorgánico y orgánico tales como:

- a) Papel mezclado: está constituido por papeles de oficina, papel de informática, papel satinado, papel encerado, papel periódico y otros.
- b) Cartón: está constituido por medios ondulados, cajas o cartones ondulados y otros.
- c) Plástico: todos los plásticos.
- d) Metales ferrosos: acero, hojalatas, latas bimetálicas.
- e) Metales no ferrosos: latas de aluminio, papel de aluminio, cobre, bronce y otros.
- f) Vidrio: todos los vidrios de diferentes colores.
- g) Caucho: todos los cauchos.
- h) Telas: diferentes colores y calidades.
- i) Orgánico: restos de fruta, de verduras, de alimentos que se descomponen, y de la poda de áreas verdes.

2.7.5. Acondicionamiento

El acondicionamiento de los residuos sólidos se realiza en la propia planta o en una infraestructura de valorización externa. Los residuos sólidos son sometidos a operaciones de limpieza, trituración o molido, compactación física, empaque o embalaje; y de corresponder procesos de tratamiento; todo ello para facilitar la valorización de los residuos.

⁸ De acuerdo con el artículo 19 del Decreto Supremo N° 005-2010-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29419, Ley que regula la actividad de los recicladores.

En caso la empresa realice el retorno de envases al proveedor para ser reutilizados y devueltos nuevamente a la empresa con el contenido solicitado; la empresa debe acondicionar los envases según las normas establecidas por el proveedor.

La operación de acondicionamiento debe realizarse en áreas o infraestructuras adecuadas.

2.7.6. Valorización

La valorización de los residuos sólidos constituye una alternativa de gestión para las empresas en general frente a la disposición final de los residuos y se enmarca dentro del enfoque de economía circular. Las acciones de valorización material y valorización energética de los residuos, por ejemplo: reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas, deben enfocarse en aquellos residuos que aún presentan valor o utilidad, y se debe realizar en áreas con una infraestructura adecuada y autorizada.

En el caso específico de las plantas de fundición de metales los siguientes residuos tienen alto potencial de ser valorizados:

- Residuos de arenas de fundición (RAF); ver alternativas en el apartado 2.5.
- Papel y cartón, plástico, metales, vidrio; pueden ser comercializados a través de una EO-RS o Asociaciones de recicladores formalizados.

Por otro lado, en las plantas de fundición se generan una serie de Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que pueden ser valorizados, tales como por ejemplo (lista no exhaustiva):

- **Equipos de intercambio de temperatura:** Aire acondicionado, ventiladores eléctricos.
- **Equipos de informática:** Computadoras, laptops, tabletas, calculadoras, etc.
- **Equipos de impresión:** Impresora, fotocopidora, escáneres, incluidos sus consumibles (cartuchos de impresión, tóner, entre otros).
- **Equipos de telecomunicaciones:** Teléfonos fijos, celulares, modem, routers.
- **Lámparas:** Lámparas de descarga, fluorescentes, compactas, lámparas LED.
- **Herramientas:** Taladros, sierras, herramientas para torneear, molturar, enarenar, pulir, cortar, cizallar, soldar.
- **Instrumentos de vigilancia y control:** Aparatos de medición, aparatos de laboratorios de ensayo, instrumentos de vigilancia y control.

De acuerdo a la normativa sobre RAEE⁹, las empresas tienen la obligación de minimizar, segregar y almacenar los RAEE de acuerdo a la naturaleza de cada

⁹ Decreto Supremo N° 009-2019-MINAM: Aprueban el Régimen Especial de Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

tipo de residuo. El destino de los RAEE, y los consumibles de Aparatos eléctricos y electrónicos-AEE, pueden ser los siguientes:

- Entregar los RAEE a los sistemas de manejo de RAEE de manera directa o en forma indirecta, a través de los operadores de RAEE encargados por los sistemas. También pueden entregar sus RAEE a los distribuidores y comercializadores que formen parte de un sistema de manejo de RAEE, sin realizar pago o cobro alguno por ello.
- Los AEE de segundo uso, dependiendo de su estado, pueden traspasarse a otros usuarios o consumidores para ser utilizados como equipos de segundo uso, hasta quedar en desuso y convertirse en RAEE.

2.7.7. Tratamiento

En esta operación la empresa puede proponer alternativas de tratamiento que podría aplicar a los residuos sólidos peligrosos, entre las cuales se puede mencionar:

- **Solidificación:** Es el proceso físico que permite la integración de residuos peligrosos para generar un material sólido de alta capacidad estructural, disminuyendo la concentración y toxicidad del residuo peligroso.
- **Neutralización:** Es el proceso que permite ajustar el pH mediante la incorporación de una sustancia química a niveles de neutralidad.
- **Pirólisis:** Es el proceso térmico que con déficit de oxígeno transforma la materia orgánica peligrosa en componentes gaseosos.
- **Incineración:** Es un proceso térmico para anular las características de peligrosidad del residuo original y disminuir su cantidad.
- **Estabilización:** Es el proceso que neutraliza la peligrosidad de los residuos mediante procesos bioquímicos.

Todos los tratamientos mencionados tienen el objetivo de reducir o eliminar el potencial peligro de los residuos de causar daños a la salud y el ambiente. En caso de que la empresa no aplique ningún tratamiento a sus residuos peligrosos, los dispondrá como tales en rellenos de seguridad.

2.7.8. Disposición final

Esta operación consiste en disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Los residuos sólidos no peligrosos, que no puedan ser valorizados, deben ser dispuestos finalmente en rellenos sanitarios; mientras que los residuos peligrosos deben ser dispuestos en rellenos de seguridad.

Como parte de esta etapa final la empresa elabora el manifiesto de manejo de residuos sólidos para su entrega a la empresa operadora de residuos sólidos (EO-RS).

2.7.9. Registro en el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL

En caso que las empresas sean requeridas de contar con un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA), estas se encuentran obligadas a presentar en la plataforma del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - SIGERSOL del Ministerio del Ambiente (<https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/panel>), los siguientes documentos en los formatos establecidos por el MINAM¹⁰:

- Durante los quince primeros días de cada inicio de trimestre, la empresa debe registrar en el SIGERSOL, la información de los manifiestos de residuos sólidos peligrosos acumulados en los meses anteriores.
- Durante los quince primeros días del mes de abril del siguiente año, la empresa debe realizar la declaración anual sobre minimización y gestión de residuos sólidos (incluye también los RAEE generados), correspondiente al año anterior.

2.7.10. Otras consideraciones para tener en cuenta en el manejo de los residuos sólidos

Otras consideraciones para tener un adecuado manejo de los residuos sólidos en el almacenamiento son:

- Limpieza y desinfección del almacén y contenedores de residuos sólidos.
- Control de plagas.
- Control de compuestos tóxicos.
- Higiene del personal de limpieza.

2.8. Manejo del material de descarte

Material de descarte es todo subproducto, merma¹¹ u otro de similar naturaleza, que constituya un insumo directamente aprovechable para el mismo rubro o giro, u otras actividades productivas, extractivas o de servicios. Ejemplo:

- Viruta metálica del acabado y mecanizado de piezas, no puede retornarse al proceso de fundición de la propia planta por estar mezclada con lubricante, lo cual podría afectar la calidad del producto fundido. En cambio, dicha viruta,

¹⁰ Resolución Directoral N° 00751-2023-MINAM/VMGA/DGGRS, que aprueba los formatos de: (i) Declaración Anual sobre Minimización y Gestión de Residuos Sólidos; (ii) Manifiesto de Residuos Peligrosos; (iii) Informe de Operador de Residuos Sólidos; y, (iv) Registro Autoritativo.

¹¹ Según el D.S. N° 122-94-EF: Reglamento de la Ley del Impuesto a la Renta, artículo 21 inciso c), Merma es toda pérdida física, en el volumen, peso o cantidad de las existencias, ocasionada por causas inherentes a su naturaleza o al proceso productivo.

previo tratamiento de limpieza y separación, puede servir para otra fundición o proceso de terceros, por lo cual tiene un valor de venta.

No son materiales de descarte aquellos subproductos, mermas u otros de similar naturaleza, de un proceso productivo que reingresan al mismo proceso de la misma planta. Ejemplo:

- Viruta metálica sin contaminación que regresa al mismo proceso de fundición de la planta como parte de la chatarra interna.

El material de descarte, en función de su volumen, puede ser almacenado en cilindros o contenedores metálicos a ubicarse en el centro de acopio de la planta para su posterior recojo y transporte seguro en camiones con tolva cubierta o furgonetas. Puede ser recolectado y transferido bajo cualquier modalidad, desde la planta hasta el lugar de su aprovechamiento, sin la obligación de contratar a una EO-RS. Si se utiliza en otra actividad, puede ser entregado gratuitamente, intercambiado o comercializado.

Cabe señalar que la empresa de fundición generadora del material de descarte debe declararlo anualmente en el SIGERSOL.

Capítulo 3: Casos de gestión de residuos sólidos con enfoque de economía circular

En el presente capítulo se presenta ejemplos de aplicación del enfoque de economía circular (9R) en la gestión de residuos sólidos en las empresas de fundición, lo cual les ha ayudado a reducir la generación de residuos o darles en última instancia un fin más útil dentro de la circularidad.

3.1. Aplicación de las 9R

En el Tabla 5 se describe ejemplos de cómo las empresas de fundición peruanas podrían aplicar las 9R en la gestión de sus procesos y operaciones para minimizar los residuos sólidos.

3.2. Recuperación de arenas de moldeo

En el caso de las fundiciones medianas y grandes es común que las arenas de moldeo se reutilicen en gran parte en el mismo proceso gracias al empleo de un sistema de recuperación de arenas de moldeo.

Por ejemplo, en la empresa Fundición Ferrosa S.A.C. se recupera un 94.7% de las arenas de moldeo, siendo la meta 95% (la arena no recuperada es de 192 toneladas/mes) ya que se usa el Sistema PEP-SET (resina fenólica-uretánica), la cual ha demostrado un mayor porcentaje de reutilización de la arena a diferencia del sistema fenólico (su uso es del 60%), y se emplea un sistema de recuperación mecánico de arenas (inversión US\$ 80,000) consistente en (ver Figuras 8 y 9):

- Zaranda vibratoria, con extractor de finos, que se alimenta con arena desplomada de moldes.
- Faja subterránea encapsulada, para transporte de arena clasificada.
- Elevador de cangilones hacia enfriador de arena clasificada.
- Enfriador de arena, con extractor de finos.
- Tolvas de arena recuperada, que alimenta a línea de moldeo.



Figura 8. Trozos de moldes de arena a recuperar



Figura 9. Sistema de recuperación de arenas de moldes

Tabla 5. Ejemplos de aplicación de las 9R en la gestión de residuos sólidos en fundiciones

Descripción de la “R”	Ejemplos de medidas a implementar en planta
1. Uso y fabricación más inteligente del producto: Utilizar menos productos, componentes, materiales, agua o energía durante el diseño y la producción, la entrega y/o uso de productos o servicios.	
R0: Rechazar: Lo que no se necesita.	Evitar la generación innecesaria de residuos en la fuente, rechazando el uso de materiales no reciclables o productos de un solo uso. Por ejemplo preferir impresoras con cartuchos recargables.
R1: Repensar: El diseño de procesos y uso de materiales con criterios de sostenibilidad y diseño ecológico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuperación de arena verde mediante regeneración primaria (por ejemplo, vibración, tambor giratorio o granallado) y secundaria (por ejemplo, el procesamiento de la arena para eliminar los aglomerantes residuales), así como los tratamientos mecánicos y térmicos, o el lavado húmedo. El tratamiento térmico se utiliza para recuperar arena químicamente aglomerada. ▪ Reducción de la formación de escoria mediante: <ul style="list-style-type: none"> - Clasificación de la chatarra: evitar la chatarra de productos electrónicos, la chatarra pintada y la chatarra de vehículos usados - Reducir en lo posible la temperatura de fusión de metales. - Optimizar el uso de fundentes y revestimiento refractario. - La escoria debe reutilizarse y extraerse los metales valiosos. ▪ Utilizar modelos y patrones impresos en 3D para crear moldes y machos. Los materiales utilizados en la impresión 3D pueden incluir plásticos biodegradables, como el PLA (ácido poliláctico), que se descomponen más fácilmente en el medio ambiente. ▪ Reemplazar montacargas a Diésel B5 o GLP por montacargas eléctricos: producen menos emisiones de CO2 (indirectamente), su costo operativo es menor, además si las unidades son alquiladas, se evita el mantenimiento y sus residuos (neumáticos, baterías, aceite usado, etc.)
R2: Reducir: Lo que se consume.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción del uso de papel en oficinas mediante uso de Tablet y el App sheet para crear aplicaciones directamente desde hojas de cálculo basadas en la nube (por ejemplo, Google Sheets, Excel y Smartsheet) y bases de datos (mySQL, postgresQL, AWS Dynamo DB, etc.) para optimizar las operaciones comerciales. ▪ Empleo del sistema ESIGTEK para documentación como boletas de pagos, reglamentos internos, contratos entre otros son entregados y firmados de manera digital, reduciendo en gran medida el consumo de papel y los residuos. ▪ Utilización de urinarios secos (sin agua) y de grifos con temporizador en los SSHH del área administrativa y vestuarios del personal operativo, con la finalidad de disminuir el consumo de agua y generación de aguas residuales. ▪ El reemplazo de las lámparas halógenas por LED más modernas, no solo aumenta la eficiencia energética y eficacia lumínica; sino también la duración y menor generación de residuos.

2. Extender la vida útil del producto y sus partes: Prolongar la vida útil y eliminar la obsolescencia programada de materiales, componentes y/o productos.	
<p>R3: Reusar: Cuando un producto puede volver a utilizarse sin necesidad de procesamiento o tratamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reúso de la viruta de las operaciones de mecanizado de piezas en la fundición. ▪ La arena de moldeo se puede reusar varias veces si se cuenta con sistema de regeneración mecánico y térmico. ▪ Los tochos se pueden reingresar al proceso de fusión. ▪ Reúso de las hojas bond o impresiones en físico, usando el lado en blanco. ▪ En lugar de utilizar envases de un solo uso, las fundiciones pueden implementar envases y embalajes reutilizables, como contenedores metálicos o pallets de madera, que se devuelven después de su uso. Esto reduce la necesidad de producir nuevos envases constantemente.
<p>R4: Reparar: Devolver un producto defectuoso o roto a un estado utilizable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En lugar de desechar productos o piezas defectuosas, considerar la posibilidad de repararlas para que puedan volver al mercado con un uso extendido. ▪ Una fundición puede ofrecer a sus clientes asistencia para mantener y reparar piezas fundidas a lo largo de su vida útil, lo que puede ser importante en industrias donde la durabilidad de las piezas es fundamental. Esto puede incluir soldadura, rectificado, reemplazo de componentes y cualquier otro trabajo necesario para restaurar la funcionalidad de las piezas. ▪ En alguna máquina que falla, se reparan las piezas, en caso no se logre la reparación se extraen las partes para utilizarlas como repuestos. ▪ El trabajo del área de mantenimiento de la planta es muy importante para mantener en uso prolongado los equipos y máquinas existentes.
<p>R5: Restaurar: Mejora de un producto haciendo que parezca nuevo sin mejoras de funcionalidad o limitadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los motores eléctricos de alguna máquina pueden rebobinarse para volverlos a utilizar. ▪ Los hornos de crisol (estacionario y basculante), horno de inducción, horno de arco eléctrico, pueden ser restaurados para continuar operando o ser vendidos a terceros.
<p>R6: Remanufacturar: Devolver un producto usado por lo menos a su rendimiento original.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una fundición puede remanufacturar piezas de sus clientes y/o de Servicio Post Venta. ▪ Otra fundición mejoro esmeriles usados para que sean más maniobrables y seguros para el trabajador. También agregó una compuerta a la mezcladora de arena para uso de cromita de manera automática, ahorrando tiempo y la calidad de la mezcla.
<p>R7: Reutilizar: Utilizar un producto en una función para la que no fue diseñado originalmente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ejemplos de reutilización de materiales por una fundición: <ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de una mesa giratoria con un reductor dado de baja de un puente grúa. Esta mesa ayuda actualmente en el tratamiento de piezas. - Una mesa elevadora se adecuó para que sea utilizada para el centro del montaje de teclas de los puentes grúas. - Los cilindros metálicos de 55 galones se reutilizan como recipientes (tachos) para los residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, con sus tapas respectivas. - Las parihuelas provenientes de los materiales importados, son reutilizadas para la fabricación de bancas para el jardín. ▪ Los residuos de arena de fundición (RAF), es decir la arena de moldeo no recuperable, podrían ser entregadas a otras empresas para ser utilizadas como materia prima en la producción de cemento, en la preparación de concreto y en la preparación de carpetas asfálticas. En esos casos la fundición evita pagar por la disposición de las RAF en relleno y las otras empresas reducen costos en materias primas.

<p>3. Aplicación útil de materiales: Incorporar los residuos post consumo al ciclo.</p>	
<p>R8: Reciclar: Acción de procesar un material desechado o usado, para su uso futuro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El polvo captado en ciclones y filtros de mangas de fundiciones no ferrosas debe regresar a los hornos, en la medida de lo posible, para recuperar los metales contenidos, minimizando los residuos a disponer. ▪ La producción de machos o núcleos genera residuos de arena en forma de machos rotos, machos con pequeñas fallas y exceso de arena aglomerada con resinas de poliuretano y furano. Para su reciclaje se requiere una unidad combinada de rotura y tratamiento del material residual. La arena resultante se puede mezclar con arena nueva para la producción de nuevos machos. Esta técnica se aplica solamente a arenas aglomeradas con resina de poliuretano (caja fría) y furano; y es viable para una producción intensiva de machos.
<p>R9: Recuperar: Recolectar materiales con la intención de evitar residuos y con el propósito de reusarlos o reciclarlos.</p>	<p>Una fundición recupera residuos de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A nivel administrativo se reciclan los papeles para reimprimir. ▪ Se comercializan residuos de cartón, plástico, papel, viruta, escoria, chatarra, madera en desuso, cilindros, aceite, baterías usadas. ▪ Los retornos, retazos y virutas de cobre y/o latón generados en los distintos procesos, son segregados y almacenados para su reproceso. ▪ Los insertos de corte (placas de tungsteno) son afiladas para extender su vida útil. ▪ En el briqueteado de las virutas de latón y cobre, se recupera el aceite, el cual es recuperado para su reproceso. ▪ Piezas no conformes se vuelven a fundir.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la empresa Fundición Chilca S.A. se cuenta con un sistema de recuperación de arenas mecánico y térmico¹² que les permite recuperar casi la totalidad de las arenas de moldeo (la fracción no recuperada es de unas 22 toneladas/mes), lo cual consiste en lo siguiente:

Clasificador de arena:

Luego de desprender los moldes de arena de las piezas metálicas, la arena es clasificada según su tamaño. La arena en granos es separada de los terrones (arena con restos de resinas). Los terrones son fragmentados y luego transportados al silo del recuperador térmico; en cambio, la arena en granos es enfriada y luego transportada al silo del recuperador mecánico. La arena recuperada se vuelve a usar en la máquina de moldes externos.

Recuperador térmico:

La arena pasa por un separador magnético y luego es introducida en el recuperador térmico, en donde el aumento de temperatura (aproximadamente 650 °C) elimina las resinas y aglomerantes presentes en la arena, luego, pasa por un proceso de enfriamiento (intercambiador de calor), y finalmente se almacena en un silo de arena recuperada.

Recuperador mecánico:

La arena en granos pasa por un separador magnético, y luego ingresa en el recuperador mecánico, donde por medio de golpe por impulsión neumática provoca la separación de las partículas de arena, luego es enfriada, y finalmente almacenada en un silo de arena recuperada. Tiene un sistema de control de emisiones compuesto por un filtro manga, el cual capta las partículas finas de la arena.

3.3. Reutilización de las arenas de fundición

En el Perú los residuos de arena de fundición (RAF) representan más del 80% de los residuos de las fundiciones, y no obstante ser un importante volumen de producción, no se han creado mecanismos para su reutilizarla en otras aplicaciones distintas al moldeo, como si existe en otros países donde también la legislación ambiental lo promueve y hay incentivos económicos para ello.

A continuación, se presentan algunos casos de interés de la reutilización de los RAF en Estados Unidos¹³ donde los generadores y los usuarios hacen simbiosis con dichos residuos logrando beneficios mutuos económicos y ambientales. También se presenta un estudio realizado en Perú para la reutilización de la escoria en concretos.

¹² Declaración anual sobre minimización y gestión de residuos sólidos no peligrosos correspondientes al año 2021 de Fundición Chilca S.A.

¹³ American Foundry Society. (2023). *Case Studies*. Recuperado de: <https://www.afsinc.org/case-studies>.

a) **Caso 1: Arena de fundición como materia prima alternativa en la fabricación de cemento**

EMPRESA:	Usuario final: Geocycle US (Holcim US) Fundición: Grede Foundries, Inc, y otros (Iowa, Minnesota, Wisconsin, Illinois).
SITIO:	Ubicación de reciclaje: Mason City, IA Descripción del sitio: La planta de Holcim en Mason City utiliza arena gastada de varias fundiciones para su proceso de producción de cemento. El cemento se utiliza como principal ingrediente en el concreto.
MATERIAL UTILIZADO:	75,000 toneladas por año de residuos de arena de fundición en la forma de arena seca y núcleos de arena.
COSTOS DEL PROYECTO Y BENEFICIOS:	Costos: <ul style="list-style-type: none">• Transporte de la arena desde fundiciones a la planta de Mason City (costo compartido).• Geocycle US realiza los análisis químicos y físicos en la arena.• Geocycle US tritura y procesa los núcleos de arena en el sitio. Beneficios: <ul style="list-style-type: none">• Las fundiciones evitan el costo de la disposición de los residuos de arena en el relleno.• La planta de Mason City evita el uso de materias primas naturales como la arena virgen.• El cemento elaborado con arenas de fundición recicladas es una opción viable para reducir el impacto ambiental para ambas partes.• El cemento fabricado con arenas de fundición es un producto sostenible que cumple con los requisitos de calidad aplicables y contribuye amigablemente con el medio ambiente.• La planta de Mason City cumple favorablemente con los reguladores ambientales y partes interesadas.



Figura 10. Pila de núcleos de arena sin procesar



Figura 11. Máquina que tritura y zarandea los núcleos de arena



Figura 12. Máquina que seca los núcleos de arena triturados y clasificados

b) Caso 2: Arena de fundición en la construcción de viviendas

PARTICIPANTES:	Fundición y comercializadora: Eureka Foundry Company (fundición ferrosa). Usuarios finales: Contratistas varios y propietarios de viviendas. Agencia reguladora: Departamento de Medio Ambiente y Conservación de Tennessee (TDEC por sus siglas en inglés).
SITIO:	Ubicación: Chattanooga, Tennessee (USA). Descripción del sitio: Eureka vende su co-producto de arena de fundición a varios contratistas en el área de Chattanooga que la utiliza para construcción de viviendas residenciales individuales.
MATERIAL UTILIZADO:	Entre 200 y 300 toneladas de arena de fundición al año, divididas entre aproximadamente cuatro o cinco proyectos por año.
COSTOS DEL PROYECTO Y BENEFICIOS:	Costos: <ul style="list-style-type: none">• El costo del transporte de la arena es negociado y dividido entre la fundición y los usuarios finales en una base por proyecto. Beneficios: <ul style="list-style-type: none">• Los propietarios de viviendas y contratistas ahorran dinero a nivel local por los agregados de construcción disponibles.• Eureka evita tanto el costo de disposición de la arena (12 US\$/tonelada) como el costo de transporte (14 US\$/tonelada) para disponer su arena en un relleno.• No hay costos de permisos individuales para esta clase de proyectos según las normas del TDEC.• Los proyectos utilizan una porción significativa, alrededor de un tercio, de la arena residual de Eureka. La arena no recuperada en los proyectos se dispone en un relleno.



Figura 13. Vista de una de las casas que utilizó la arena de Eureka como relleno de cimientos. El sitio de construcción fue excavado hasta alcanzar un suelo estable, luego la arena de fundición se utilizó como relleno para que los cimientos tengan el grado necesario

c) **Caso 3: Arena de fundición como ingrediente de pavimento asfáltico**

PARTICIPANTES: **Fundición:** Weil-MacLain (fundición de hierro gris).
Ingenieros/Contratistas: Reith-Riley (contratista de pavimentos).

SITIO: **Ubicación:** Mishawaka, Indiana (USA).
Descripción del sitio: Reith-Riley recibió una compensación por transportar la arena de fundición de Weil-McLain a un sitio donde se incorporó a una mezcla asfáltica. La mezcla asfáltica se utilizó para construir partes de la pista de pruebas de AM General (fabricante estadounidense de vehículos pesados) para vehículos tipo Hummer.

Aproximadamente 4,000 toneladas de arena de fundición de varios tipos, la que fue probada para varias especificaciones de pavimentación:

MATERIAL UTILIZADO:

Parámetro	Valor
Densidad	100 – 110 Lb/pie ³
Gravedad específica aparente	2,61
Firmeza al Sulfato de sodio	6,9% pérdida total
Absorción	0,4%
Contenido vacío sin compactar	33,2%

COSTOS DEL PROYECTO Y BENEFICIOS:

Costos:

- Weil-McLain pagó a Reith-Riley por el uso y transporte de la arena de fundición, lo que representó un 25% del costo que le habría significado disponer la arena en un relleno.

Beneficios:

- Weil-McLain ahorró cerca de US\$ 50,000 en evitar pagos por disposición de la arena en un relleno.
 - No hubo beneficios económicos para Reith-Riley, ya que opera fuentes locales de agregados cerca de su planta de asfalto. Sin embargo, debido a que Weil-McLain compensó a Reith-Riley por usar la arena de fundición, hizo que la relación comercial fuera económicamente viable.
 - Reith-Riley reportó que el uso de la arena de fundición contribuía a producir una superficie de acabado suave para el asfalto.
-

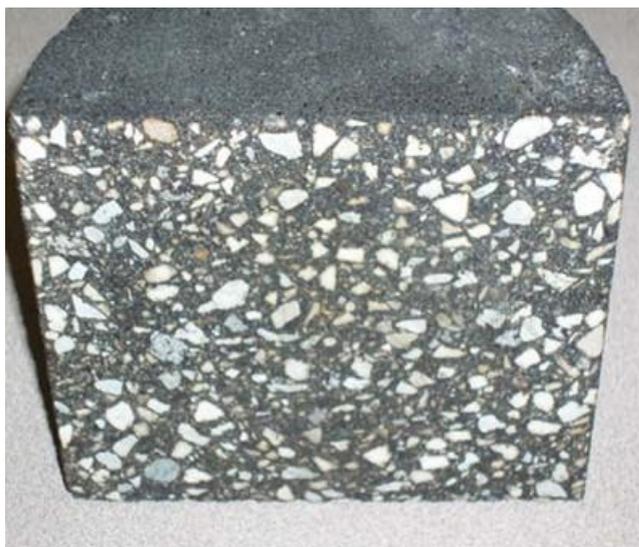


Figura 14. Núcleo tomado de un bloque de prueba en el sitio de la construcción.

d) **Caso 4: Estudio del uso de escoria como agregado de concreto**

Título: Proyecto de adaptación del modelo de negocio de FUNVESA para usar la escoria con enfoque de responsabilidad social en Ventanilla

Autor(es): [Rojas Yupanqui, Victor Pool](#)

Asesor(es): Noriega Niño De Guzmán, Carlos Adolfo

Palabras clave: [Escoria](#); [Relleno sanitario](#); [Agregado](#)

Fecha de publicación: 2019

Institución: Universidad Nacional de Ingeniería

Fuente: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3266074>

Resumen:

La escoria generada en las plantas de fundición de acero es considerada como un residuo inocuo cuyo destino final habitualmente es un relleno sanitario. 19 MYPES en la ciudad de Lima generan todas juntas una cantidad significativa de escoria. La empresa FUNVESA genera 18 toneladas anuales de escoria de acero. Esta escoria, presenta, atrapadas partículas de metales con rangos en peso dado en porcentajes como sigue: Al <0.17%,18.55%>, Cr <0.32%,9.16%> y Fe <1.14%,3.28%>. En el Perú, la escoria proviene del procesamiento de la chatarra recolectada, limpiada y procesada a través de procedimientos de fundición habituales. FUNVESA procesa chatarra para sus 6 líneas de producción. Este trabajo presenta una propuesta viable para tratar a la escoria como un coproducto de FUNVESA. Los resultados de las pruebas de laboratorio indican que la escoria tal como se genera puede reemplazar a la piedra chancada para concreto estructural. En laboratorio se ha logrado un concreto de

245 kg/cm² empleando cemento Portland Tipo I siguiendo la dosificación al peso de 1:1.83:1.88. Bajo la coordinación de la ONG Grupo GEA se implementó un proyecto piloto para construir, con estos materiales, una losa en el paradero de transporte público localizado en la Reserva Humedales de Ventanilla, Región Callao. Las resistencias a la rotura de las probetas alcanzaron valores de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. El modelo de negocio recomendado a FUNVESA es la utilización de la escoria como agregado grueso para la fabricación de adoquines de concreto simple. Asimismo, desarrollarlo como un proyecto de eco-innovación con estándares globales, bajo el ofrecimiento de PRODUCE (Ministerio de la Producción), de facilitarle bajo pedido de capacitación y asistencia técnica para participar en los Concursos de INNOVATE PERU. Se concluye que el modelo de negocio de la empresa viene acompañada con el concepto de responsabilidad social con un fuerte componente de apoyo al Municipio de Ventanilla, toda vez que el proyecto se inició en marzo de 2017 con la primera piedra en la Reserva Humedales de Ventanilla.

Capítulo 4: Plan de minimización y manejo de residuos sólidos en el sector fundición

El plan de minimización y manejo de residuos sólidos (PMMRS) se orienta a prevenir o minimizar la generación de los residuos sólidos en la fuente, asegurando un uso eficiente de los recursos, insumos y materiales, así como a la gestión y manejo adecuado de los residuos generados, a través de las operaciones de segregación, recolección selectiva, transporte, almacenamiento, acondicionamiento, valorización, tratamiento y disposición final; que resultan del desarrollo de las actividades productivas de las fundiciones.

El PMMRS es parte de un instrumento de gestión ambiental (IGA) de un proyecto de inversión nuevo o de una actividad en curso que proyecte cambios con IGA, donde se deben identificar las actividades y fuentes de generación de residuos sólidos en cada una de las etapas, incluyendo las áreas o servicios que los generarán, su clasificación, características, cantidades generadas considerando la temporalidad, entre otros aspectos.

El contenido del PMMRS ha sido establecido en el anexo de la Resolución Ministerial N° 089-2023-MINAM, “Contenido Mínimo del Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos No Municipales”.

A continuación, se describe brevemente el alcance del contenido mínimo del PMMRS (ver detalles en la norma legal antes mencionada):

1. Presentación / Introducción

Se plantea el problema y cómo se abordará con el PMMRS.

2. Objetivo

Se indica como objetivo las acciones para prevenir y minimizar la generación de residuos sólidos, y la gestión y manejo de los residuos sólidos ya generados. Se enuncia la idea central del plan y los logros que se quieren obtener.

3. Alcance

Se precisa dónde se aplican las acciones y medidas del PMMRS: áreas incluidas en el proyecto o la actividad en curso (administrativa y operativa); considerando todas las etapas, como son la planificación, construcción, operación, mantenimiento y cierre/abandono; según corresponda.

4. Identificación, características y estimación de residuos sólidos

Se debe identificar las actividades que generen residuos sólidos con la ayuda de un diagrama de flujo simplificado, y caracterizarlos según peligrosidad (ver Anexos III y IV del DECRETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM), estimando sus cantidades en cada una de las etapas del proyecto o de la actividad en curso que corresponda.

5. Estrategias para la prevención y/o minimización

Se debe describir los procedimientos, métodos o técnicas para la prevención y/o minimización de los residuos sólidos, así como, incluir el aprovechamiento del material de descarte; y el manejo de los residuos de bienes priorizados (por ejemplo, residuos sólidos de aparatos eléctricos y electrónicos – RAEE, neumáticos fuera de uso) bajo el esquema de la Responsabilidad Extendida del Productor.

Se pueden incluir las siguientes alternativas:

- Análisis de alternativas para la selección de un material, insumo o producto químico.
- Adquisición de insumos contenidos en envases y embalajes con ecodiseño o ecoetiquetado.
- Implementación de acciones de ecoeficiencia, retornabilidad y reutilización de envases.
- Identificación de mejoras e innovación tecnológica.
- Consideración de normas técnicas vinculadas a metrados y expedientes técnicos.
- Mantenimiento de los equipos e instalaciones.
- Capacitación y sensibilización del personal operativo y administrativo de las actividades a cargo de los titulares.
- Otros que demuestren viabilidad técnica, económica y ambiental.

6. Gestión y manejo de residuos sólidos

Detallar cuáles de las siguientes operaciones o procesos se realizarán por la ejecución del proyecto de inversión o por la actividad en curso:

a) Segregación

Consiste en clasificar los residuos en la fuente de generación, separándolos de acuerdo con sus características, a fin de diferenciar el manejo de estos, para su posterior acondicionamiento, valorización, tratamiento y/o disposición final.

b) Recolección selectiva

Establecer los medios para recoger los residuos que han sido previamente segregados en la fuente, con la finalidad de mantener las condiciones para su posterior valorización.

c) Almacenamiento

El almacenamiento de los residuos sólidos debe considerar sus cantidades, características, peligrosidad, incompatibilidad con otros residuos, a fin de garantizar su valorización, o por último su disposición final. Se debe utilizar la NTP 900.058:2019. GESTIÓN DE RESIDUOS, Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos. 2ª Edición, o su versión actualizada.

La infraestructura de almacenamiento de residuos sólidos debe contener posibles derrames, protección contra la lluvia, el viento, el sol, dependiendo de la característica del residuo.

Las sustancias peligrosas deben almacenarse de acuerdo con sus características de compatibilidad y requisitos físicos indicados en sus respectivas hojas de seguridad (MSDS).

d) Transporte

El transporte externo de los residuos industriales únicamente se realiza a través de las Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS) debidamente autorizadas. En caso de generarse residuos sólidos similares a los municipales, el transporte podrá ser realizado por el servicio municipal o por una EO-RS.

e) Acondicionamiento

Se debe describir las características técnicas de las áreas de acondicionamiento de residuos sólidos. La operación de acondicionamiento puede realizarse de manera conexas a las actividades de valorización.

Cuando se realice la operación de acondicionamiento, se debe señalar las actividades de limpieza, trituración o molido, compactación física, empaque o embalaje, entre otras similares; las cuales permiten o facilitan la posterior valorización de los residuos sólidos.

f) Valorización

La valorización de residuos sólidos con potencial de aprovechamiento (que aún presentan un valor o utilidad), es la alternativa que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos sólidos. Hay dos (2) tipos de valorización, por lo que se deben describir las alternativas que se pretenden implementar:

- Valorización material: Se considera la reutilización, recuperación de componentes o materiales, reciclaje, compostaje, entre otras, que demuestren su viabilidad técnica, económica o ambiental.
- Valorización energética: Se pueden implementar operaciones de coprocesamiento, coincineración, generación de energía sobre la base de los procesos de biodegradación, biochar, entre otros.

Se debe señalar el nombre de la infraestructura de valorización y su ubicación; asimismo, las cantidades estimadas de generación de residuos sólidos (masa, unidad y/o volumen).

En el caso de los residuos de la construcción y demolición con potencial de valorización, se debe describir las potenciales actividades/proyectos a los que entregará estos residuos para su aprovechamiento, según el Decreto Supremo N°002-2022-VIVIENDA.

g) Tratamiento

En caso se realice el tratamiento de residuos sólidos, se debe describir los procesos, métodos o técnicas que permitan modificar las características de los residuos, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el objetivo de prepararlo para su posterior valorización o disposición final.

Entre los métodos de tratamiento se tienen la solidificación, neutralización, estabilización, incineración, pirólisis, esterilización por autoclave, pretratamiento, entre otros. Dicha operación también se podrá tercerizar a través de la contratación del servicio de las EO-RS.

h) Disposición final

Si la disposición final se realiza a través de una EO-RS, se debe indicar los residuos sólidos que serán dispuestos, las cantidades estimadas en masa o en volumen y el lugar de disposición final, los cuales deben realizarse en infraestructuras de residuos sólidos debidamente autorizadas. Si éstas no existieran, se debe plantear las estrategias para el manejo adecuado de los residuos sólidos.

7. Descripción de las medidas ambientales

Se debe presentar un resumen de las medidas para prevenir, mitigar y/o corregir los impactos ambientales sobre los componentes ambientales identificados en el IGA por la generación de residuos sólidos.

8. Medidas de atención ante emergencias

Se deben identificar las posibles emergencias, contingencias y siniestros, que pudieran ocurrir por el manejo de los residuos sólidos, especialmente por los residuos peligrosos.

Asimismo, debe indicar las medidas identificadas (antes, durante y después del evento o incidente), las cuales se describen en el Plan de Contingencias del IGA.

9. Indicadores de seguimiento y control

Se deben describir las actividades que se llevarán a cabo para verificar el cumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos en el PMMRS. También definir los indicadores para medir el desempeño de las medidas implementadas, como parte de las obligaciones y compromisos asumidos.

10. Cronograma de implementación

Se debe establecer una programación mensual, bimensual, trimestral, semestral o anual para la implementación de las medidas ambientales.

11. Presupuesto y recursos necesarios

Se debe realizar la estimación de los recursos económicos, recursos humanos, entre otros, para la implementación de las estrategias, medidas y/o actividades en la gestión y manejo de los residuos sólidos.

12. Funciones del responsable de la gestión y manejo de residuos sólidos

Se debe describir las funciones del responsable o del área designada para cumplir con los compromisos y obligaciones establecidas para la gestión y manejo de los residuos sólidos.

Los compromisos, obligaciones y responsabilidades derivadas del plan se incluyen en el resumen de compromisos ambientales del IGA, de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente.

13. Anexos

El PMMRS debe contener los siguientes anexos (ver detalles en la R.M. N° 089-2023-MINAM):

Anexo N° 1: Glosario de términos

Anexo N° 2: Diagrama de flujo simplificado

Anexo N° 3: Clasificación de los Residuos Sólidos por sus características y ámbito de gestión

Anexo N° 4: Cuadro estimado de la cantidad de residuos sólidos de bienes priorizados

Anexo N° 5: Clasificación de los residuos sólidos por sus características para su almacenamiento

Anexo N° 6: Cuadro estimado del volumen y cantidad de residuos sólidos a generarse (Resumido por etapas)

Anexo N° 7: Cuadro estimado del volumen y cantidad de residuos sólidos a generarse (Por actividad generadora)

Anexo N° 8: Principios de la Jerarquía en la gestión de los residuos sólidos

Anexo N° 9: Análisis de alternativas para uso de insumos o materias primas

Anexo N° 10: Cuadro de incompatibilidad de los residuos sólidos

Anexo N° 11: Cuadro resumen de medidas ambientales y presupuesto para la implementación del PMMRS

Anexo N° 12: Operaciones de Manejo de Residuos Sólidos

ANEXOS

ANEXO 1 LISTA DE CARACTERÍSTICAS PELIGROSAS

Clase de las Naciones Unidas ¹⁴	Código	Características
1	H1	Explosivos Por sustancia explosiva o desecho se entiende toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.
3	H3	Líquidos inflamables Por líquidos inflamables se entiende aquellos líquidos, o mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc. pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60.5 °C, en ensayos con cubeta cerrada, o no más de 65.6 °C, en ensayos con cubeta abierta (como los resultados de los ensayos con cubeta abierta y con cubeta cerrada no son estrictamente comparables, e incluso los resultados obtenidos mediante un mismo ensayo a menudo difieren entre sí, la reglamentación que se apartara de las cifras antes mencionadas para tener en cuenta tales diferencias sería compatible con el espíritu de esta definición).
4.1	H4.1	Sólidos inflamables Se trata de los sólidos, o desechos sólidos, distintos a los clasificados como explosivos, que en las condiciones prevalecientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.

¹⁴ Corresponde al sistema de numeración de clases de peligros de las Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercaderías Peligrosas (ST/SG/AC.10/1/Rev.5, Naciones Unidas, Nueva York, 1988).

Clase de las Naciones Unidas ¹⁴	Código	Características
4.2	H4.2	<p>Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea</p> <p>Se trata de sustancias o desechos susceptibles de calentamiento espontáneo en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que pueden entonces encenderse.</p>
4.3	H4.3	<p>Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables</p> <p>Sustancias o desechos que, por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.</p>
5.1	H5.1	<p>Oxidantes</p> <p>Sustancias o desechos que, sin ser necesariamente combustibles, pueden, en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>
5.2	H5.2	<p>Peróxidos orgánicos</p> <p>Las sustancias o los desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -o-o- son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición auto acelerada exotérmica.</p>
6.1	H6.1	<p>Tóxicos (venenos) agudos</p> <p>Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.</p>
6.2	H6.2	<p>Sustancias infecciosas</p> <p>Sustancias o desechos que contienen microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.</p>
8	H8	<p>Corrosivos</p> <p>Sustancias o desechos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que, en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, otras mercaderías o los medios de transporte; o pueden también provocar otros peligros.</p>
9	H10	<p>Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua</p> <p>Sustancias o desechos que, por reacción con al aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.</p>

Clase de las Naciones Unidas ¹⁴	Código	Características
9	H11	Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos) Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénica.
9	H12	Ecotóxicos Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.
9	H13	Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posee alguna de las características arriba expuestas.

**ANEXO 2
FICHA TÉCNICA DE RESIDUOS
(modelo)**

Tipo de residuo: Residuos de arena de moldes		
Manejo interno de la empresa		
Residuo	Residuos de arena no recuperable procedentes de la elaboración de moldes para fundición durante la cadena de producción, los mismos pueden volver a utilizarse para la fabricación de productos nuevos.	Residuos de arena de moldes
Fuente/proceso de generación (se refiere a cómo se genera el residuo)	Moldeo	
Clasificación según su manejo:	Peligroso <input type="checkbox"/> No peligroso <input checked="" type="checkbox"/>	
Reciclable	Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Código de Basilea	No establece	
Características	Estado: sólido Material: sílice	 Almacén de residuos de arena
Acondicionamiento	1. Separar y clasificar la arena de moldeo no recuperable. 2. Trasladar la arena hacia la zona de almacenamiento temporal.	
Almacenamiento	1. Almacenar la arena en un contenedor sobre piso firme y bajo techo. 2. La arena residual no debe mezclarse con otros residuos en el contenedor.	
Gestores que reciben el residuo	Empresa Operadora de Residuos Sólidos <input checked="" type="checkbox"/> Asociación de recicladores <input type="checkbox"/> Empresa (Como material de descarte) <input type="checkbox"/> Otro <input checked="" type="checkbox"/>	
Destino final	Valorización <input checked="" type="checkbox"/> Disposición final en relleno de seguridad <input type="checkbox"/> Tratamiento <input type="checkbox"/> Disposición final en relleno sanitario <input type="checkbox"/>	
Alternativas de valorización		
Descripción	Imagen del residuo valorizado	

Reciclaje	<p>Los residuos de arena de fundición pueden servir para elaborar otros productos, los que pueden comercializarse por terceros, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Bases de carreteras.▪ Material de relleno.▪ Material de drenaje.▪ Elementos de concreto.▪ Producción de cemento.▪ Cobertura final de rellenos de residuos.▪ Material de construcción.▪ Otros.	
-----------	--	---

Tipo de residuo: Residuos de madera		
Manejo interno de la empresa		
Residuo	Residuos de madera procedentes de los embalajes durante la cadena de producción, los mismos pueden volver a utilizarse para la fabricación de productos nuevos.	
Fuente/proceso de generación (se refiere a cómo se genera el residuo)	Embalaje de insumos y productos,	
Clasificación según su manejo:	Peligroso <input type="checkbox"/> No peligroso <input checked="" type="checkbox"/>	
Reciclable	Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Código de Basilea	B3: Residuos que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que pueden contener metales y materiales orgánicos B3050: Residuos de corcho y de madera, estén o no aglomerados en troncos, briquetas, bolas o formas similares	 <p>Almacén de residuos de madera</p>
Características	Estado: sólido Material: celulosa (orgánico)	
Acondicionamiento	1. Separar y clasificar la madera. 2. Apilar las piezas según tamaño, tipo, etc. Juntarlos y amarrarlos según necesidad, previo a su traslado. 3. Trasladar la madera hacia la zona de almacenamiento temporal.	
Almacenamiento	1. Almacenar el papel y cartón en un área bajo techo y sobre piso. 2. Durante el almacenamiento los paquetes de cartón y papel deben mantenerse apilada una sobre otra y de manera ordenada.	
Gestores que reciben el residuo	Empresa Operadora de Residuos Sólidos <input checked="" type="checkbox"/> Asociación de recicladores <input checked="" type="checkbox"/> Empresa (Como material de descarte) <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	
Destino final	Valorización <input checked="" type="checkbox"/> Disposición final en relleno de seguridad <input type="checkbox"/> Tratamiento <input type="checkbox"/> Disposición final en relleno sanitario <input type="checkbox"/>	

Alternativas de valorización	
Descripción	Imagen del residuo valorizado
Reciclaje	<p>Los residuos de madera pueden ser utilizados para fabricar muebles y otros objetos para decoración, los que pueden comercializarse por terceros.</p>   

ANEXO 3
**FORMATOS SUGERIDOS PARA EL REGISTRO DE INFORMACIÓN DE
GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Registro diario de generación de residuos sólidos

Fecha	Denominación del residuo sólido	Estado del residuo sólido			Cantidad Generada (kg)	Características de peligrosidad						
		Sólido	Líquido	Semi sólido		TA	TC	TE	R	I	C	
Total mensual:					Promedio mensual:							

TA: Toxicidad aguda TC: Toxicidad Crónica TE: Toxicidad Extrínseca R: Reactiva I: Inflamable C: Corrosivo

Registro de movimiento de los residuos sólidos en el sitio de almacenamiento

Fecha de ingreso	Denominación del residuo sólido	Cantidad generada (kg)	Ubicación en el sitio de almacenamiento	Fecha de egreso
Total mensual:		Promedio mensual:		

Registro de residuos sólidos reusados y/o aprovechables

Fecha	Denominación del residuo sólido	Cantidad eliminada (kg)	Descripción de la operación de eliminación
Total mensual:		Promedio mensual:	

Registro de residuos sólidos entregados a terceros para su eliminación

Fecha de envío	Denominación del residuo sólido	Cantidad generada (kg)	Nombre de la instalación de eliminación	N° de documento de declaración	Fecha de recepción en la instalación de eliminación
Total mensual :		Promedio mensual:			

