

**MANUAL DE MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN**

**Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e
Industriales para el Giro de la
Fundición**

Comisión Ambiental Metropolitana

en colaboración con:

**Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ)
TÜV ARGE-MEX**

Diciembre de 1996

PRESENTACIÓN

La industria emplazada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, es considerada parte importante de la infraestructura urbana porque provee a la Ciudad de México de innumerables bienes y servicios.

No obstante, es conocido que los procesos industriales conllevan además de todos los bienes que generan, un gasto ambiental representado en proporción apreciable por los materiales de desecho o residuos, que se generan como parte ineludible de todo proceso productivo. Si bien esos desechos no son deseables, tampoco puede culparse a la planta industrial citadina y censurar su actividad productiva, puesto que representa uno de los más importantes factores del desarrollo nacional.

Es necesario que tanto el gobierno como las instituciones de investigación, se aboquen junto con el sector industrial, a buscar soluciones que permitan compatibilizar esta actividad productiva con la protección ambiental y sanitaria, para mejorar e incrementar la calidad de vida en la Ciudad de México.

Por lo anterior, la Comisión Ambiental Metropolitana en estrecha colaboración con el sector industrial y de investigación, ha tomado la iniciativa de desarrollar una serie de manuales de minimización para los giros industriales catalogados entre los principales generadores de residuos.

Estos manuales auxiliarán al responsable de la gestión de los residuos en cada empresa, a lograr el desarrollo de un concepto de manejo que reduzca los costos derivados del tratamiento y/o disposición de los residuos generados, al mismo tiempo que se disminuye y se previene la generación de los mismos, en favor de un proceso productivo cada vez más limpio y el consecuente mejoramiento de la imagen pública de la empresa.

Los conceptos empresariales para el manejo y la minimización de los residuos industriales que se integran en estos manuales, se sustentan en la identificación de los puntos críticos de generación del proceso productivo y de la logística interna de la empresa, identificando las causas y elaborando recomendaciones para evitar y/o minimizar la generación.

Finalmente, con toda esta información como marco, se estructura un concepto de manejo integral con un enfoque que impacte positivamente la economía de la empresa al disminuir los costos por concepto de manejo de residuos, y que colateralmente, disminuya el gasto ambiental que significa su actividad productiva. Al respecto, la experiencia internacional indica que se ha logrado reducir desde un 30 y hasta un 40 % de los volúmenes totales de generación de residuos industriales.

En esta ocasión, se presenta al público interesado el primero de un total de seis Manuales de Minimización, Tratamiento y Disposición para la Industria, enfocado específicamente al giro de la Fundición.

El diagnóstico de la problemática se obtuvo gracias a la participación activa de las industrias más representativas del giro de la fundición, establecidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, las cuales fueron visitadas por técnicos expertos en materia de manejo de residuos, a través de una metodología basada en la realización de un inventario de los residuos industriales generados e identificando las fuentes de generación en las diferentes etapas del proceso.

La información recopilada se incorporó en una base de datos que contiene la información actualizada respecto a generalidades de la industria, tipos de procesos, tecnologías existentes, tipos de residuos industriales, costos de disposición de los residuos, etc. De esta manera se estableció un perfil tecnológico genérico para la industria de la fundición establecida en la Zona Metropolitana, a partir del cual se desarrollaron una serie de recomendaciones para minimizar la generación de residuos y reducir costos por concepto de manejo de residuos, integrados en un concepto de manejo integral que establece la plataforma para el desarrollo de los conceptos particulares que cada empresa requiere.

De esta manera, este manual se constituye en la primera aportación de todos los sectores involucrados, para avanzar en dirección de una industria cada vez más limpia y compatible con el ambiente que la rodea, y al mismo tiempo, representa el compromiso del Gobierno de la Ciudad de México por participar activamente en la resolución de los problemas que enfrenta la industria ciudadana en el recorrido del camino común hacia un desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa colaboración de las siguientes empresas fundidoras, sin las cuales no hubiera sido posible la elaboración del presente manual:

- ACEROS ESPECIALES, S.A. DE C.V.
- ALEACIONES UNIVERSALES, S.A. DE C.V.
- AMSCO, S.A. DE C.V.
- COMERCIALIZADORA LA ABEJA, S.A.
- DIE-CASTING, S.A. DE C.V.
- ESTAÑO ELECTRO, S.A. DE C.V.
- ESTAÑO Y SUS DERIVADOS, S.A. DE C.V.
- FUNDICIÓN CONTESA, S.A. DE C.V.
- FUNDICIÓN MIRANDA, S.A.
- FUNDICIÓN NARDO, S.A. DE C.V.
- FUNDICIÓN VALLEJO, S.A. DE C.V.
- FUNDIDORA ESCORPIÓN, S.A.
- FUNDIDORA TECNICA, S.A.
- FUNDIDORA TREJO, S.A.
- FUNDIDORES ARTÍSTICOS, S.A. DE C.V.
- INDUSTRIAS VERONA, S.A. DE C.V.
- METALÚRGICA 3M, S.A.
- NACIONAL DE COBRE, S.A. DE C.V.
- PROCESAMIENTOS METÁLICOS, S.A. DE C.V.
- RAMCON, S.A. DE C.V.
- RODILLOS ENDURECIDOS, S.A. DE C.V.
- TÉCNICOS EN LA ALTA PRODUCCIÓN, S.A. DE C.V.

También agradecemos la invaluable cooperación de los participantes inscritos dentro del “Seminario sobre Conceptos Empresariales para el Manejo y Minimización de Residuos Industriales”, por haber seguido participando en la realización de las visitas técnicas a las industrias y en la elaboración de los reportes que forman parte del presente manual.

Se agradece especialmente la colaboración SIEMENS, por la donación de equipo de protección personal para los técnicos que realizaron las visitas industriales.

Asimismo, hacemos patente nuestro agradecimiento a las siguientes instituciones públicas, educativas y de investigación, así como cámaras industriales que apoyaron decididamente los trabajos para la integración de los manuales a través de sus distinguidos representantes y colaboradores:

- PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN AMBIENTAL
- SECRETARÍA DE ECOLOGÍA DEL ESTADO DE MÉXICO
- LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA AMBIENTAL, U.N.A.M.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO
- CONFEDERACIÓN NACIONAL DE CÁMARAS INDUSTRIALES
- CÁMARA NACIONAL DE LA TRANSFORMACIÓN
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS QUÍMICAS
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA DEL DISTRITO FEDERAL
- DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL
- LABORATORIO DE BACTERIOLOGÍA Y FISICOQUÍMICA DEL DISTRITO FEDERAL

INDICE

PRÓLOGO	8
I. DEFINICIÓN DE LAS EMPRESAS QUE SE CARACTERIZAN COMO FUNDIDORAS	9
II. BASES LEGALES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	10
III. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS Y LOS TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS.	12
III.1 FUNDIDORAS DE METALES FERROSOS.	12
III.2 FUNDIDORAS DE METALES NO FERROSOS.	15
IV. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE RESIDUOS.	19
IV.1. FUNDIDORAS DE METALES FERROSOS.	19
IV.2. FUNDIDORAS DE METALES NO FERROSOS.	22
V. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN.	25
V.1. MEDIDAS GENERALES DE PREVENCIÓN.	25
V.2. MEDIDAS ESPECÍFICAS DE PREVENCIÓN POR PROCESO.	28
V.3. MEDIDAS ESPECÍFICAS DE PREVENCIÓN POR TIPO DE MATERIAL.	40
V.4. OTRAS MEDIDAS.	40
VI. APROVECHAMIENTO (REUSO/RECICLAJE).	41
VII. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS QUE NO SE PUEDEN EVITAR.	43
VII.1. ALMACENAMIENTO INTERNO.	43
VII.2. SEÑALAMIENTO.	47
VII.3. TRANSPORTE.	48
VII.4 ALTERNATIVAS DE MANEJO DE RESIDUOS.	49
VIII. CONTACTOS PARA MAYOR INFORMACIÓN.	57

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS.	13
TABLA 2. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL MOLDEO Y DESMOLDEO EN FUNDIDORAS DE METALES FERROSOS	14
TABLA 3. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS EN LA FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS.	15
TABLA 4. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS.	16
TABLA 5. RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE VACIADO Y DESMOLDEO EN LA FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS.	17
TABLA 6. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS EN FUNDIDORAS DE METALES NO FERROSOS.	18
TABLA 7A. PANORAMA DE POSIBLES PROCESOS DE MOLDEO Y VACIADO CON MOLDES DESECHABLES	20
TABLA 7B. PANORAMA DE POSIBLES PROCESOS DE MOLDEO Y VACIADO CON MOLDES FIJOS	21
TABLA 8. RESIDUOS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES PROCESOS Y OPERACIONES EN LA FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS ENCONTRADOS DURANTE LAS VISITAS TÉCNICAS.	22
TABLA 9. RESIDUOS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES PROCESOS Y OPERACIONES EN LA FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS ENCONTRADOS DURANTE LAS VISITAS TÉCNICAS.	23
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS POR GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO (NOM-052-ECOL/1993) .	24
TABLA 11. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS POR FUENTE NO ESPECÍFICA (NOM-052-ECOL/1993) .	25
TABLA 12. LA COMPATIBILIDAD DE ARENAS REGENERADAS CON DIFERENTES AGLUTINANTES	32
FIGURA 1. PRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CICLO DE ARENA DE FUNDICIÓN.	34
FIGURA 2. DIFERENTES POSIBILIDADES PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE ARENAS GASTADAS.	37
TABLA 13. TIPO DE ALMACENAMIENTO RECOMENDADO.	45
TABLA 14. ALTERNATIVAS DE MANEJO Y DISPOSICIÓN PARA LOS RESIDUOS TÍPICOS DE LA FUNDICIÓN.	50

Prólogo

A nivel nacional, la protección al ambiente representa uno de los mayores retos del presente y en el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la protección ambiental es especialmente importante por concentrar la mayor densidad poblacional a nivel mundial y por contar con la planta industrial más importante del país. La industria está consciente de esto, y la gran mayoría de ellas se inclina en forma activa y preventiva hacia la protección del Ambiente. En este marco, una de las áreas que causa cada vez más problemas en el Valle de México y a la que hasta ahora no se le ha prestado la debida atención, es la del manejo de **residuos**, y en especial de los **Residuos Industriales Peligrosos**.

Como instrumento más importante y efectivo para iniciar un manejo de residuos ordenado, se ha desarrollado el Concepto Empresarial de Manejo de Residuos, cuyo objetivo primordial es optimizar el manejo interno de los residuos en la empresa y al mismo tiempo reducir los costos por concepto de disposición final.

Considerando lo anterior, la Comisión Ambiental Metropolitana, presenta este Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición de los Residuos Industriales y Peligrosos generados en la industria de la fundición, que constituye un logro importante de los trabajos realizados en el marco de la colaboración técnica entre los gobiernos de México y Alemania. Es claro que este manual no substituye el trabajo intensivo que se requiere para el desarrollo de un concepto empresarial específico, únicamente pretende ser un instrumento que respalde los esfuerzos en materia de manejo integral de residuos que han venido realizando el sector industrial y las instituciones de gobierno involucradas, ofreciendo una orientación clara sobre medidas específicas para prevenir, minimizar, reusar y tratar correctamente los residuos que se generan en la industria de la fundición.

El manual proporciona información de apoyo para fundidoras de metales ferrosos (incluyen la fabricación de aceros y las diferentes calidades de hierros), y no ferrosos (aluminio, zamak, latón, níquel, cobre, bronce, etc.). Se proponen medidas para la prevención, minimización, tratamiento y disposición final de residuos industriales, estableciendo las bases que orienten a las empresas hacia un manejo integral que disminuya los costos de disposición de residuos y coadyuve al mejoramiento de la situación ambiental. Asimismo se proporciona a las industrias fundidoras, un panorama general sobre las alternativas técnicas existentes para lograr una reducción considerable de la cantidad de residuos generados.

Aunado a lo anterior, el personal de gobierno y de las cámaras industriales, así como los empresarios adquirirán a través de este concepto, fundamentos de trabajo que les permitirán asesorar a las industrias que así lo soliciten y al mismo tiempo, desarrollar estrategias para abordar los diferentes problemas que se presenten.

La base para este manual fue la evaluación de 14 conceptos de manejo de residuos de fundidoras de metales no ferrosos y 7 de metales ferrosos, realizada por ingenieros mexicanos a través de visitas técnicas a industrias ubicadas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La evaluación de estos conceptos se realizó considerando los siguientes rubros:

- Insumos y procesos.
- Residuos generados y material residual.
- Reuso/reciclaje o disposición posible de estos residuos (actual y recomendable) y
- Las medidas a corto, mediano y largo plazo para mejorar la situación en cuanto a los residuos y materiales residuales.

Con fundamento en esta información específica para la Zona Metropolitana e incluyendo literatura de vanguardia e información del giro de fundición, se elaboró el “Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Fundición”, diseñado de acuerdo a las necesidades de la industria en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

I. DEFINICIÓN DE LAS EMPRESAS QUE SE CARACTERIZAN COMO FUNDIDORAS

Las empresas aquí consideradas son fundidoras de metales ferrosos principalmente de hierro, acero y hierro dúctil, así como de metales no ferrosos tales como aluminio, plomo, bronce, magnesio, latón, cobre, zamak y zinc. La cantidad de trabajadores de las empresas visitadas varía entre 10 y varios centenares, por lo cual muchas empresas se clasifican dentro de la microindustria.

Las empresas de Fundición de metales ferrosos utilizan principalmente moldes desechables de acuerdo al proceso de fundición con moldeo a base de arena, con recuperación parcial de las arenas gastadas de la fundición. Para el moldeo y vaciado de metales no ferrosos se aplican principalmente procesos de moldeo a base de arenas, así como procesos de fundición en maquinas de inyección a presión. Los procesos de fundición de colada continua y fundición de lingotes se usan solo esporádicamente.

La ventaja de la fundición frente a otros procesos de la transformación de metales, consiste en poder producir una variedad de piezas con perfiles internos y/o externos complejos de manera económicamente rentable.

Los tipos de procesos de las fundiciones de metales ferrosos, así como de metales no ferrosos se diferencian entre sí en las técnicas de fundición y los residuos generados, así que se comentan separadamente en capítulos describiendo las técnicas de los procesos, los residuos generados y la minimización de los mismos.

II. BASES LEGALES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

La regulación relevante para el generador de residuos se presenta en la siguiente lista, aunque debido a que por el momento la emisión de leyes en materia ambiental se encuentra en transición, no se logra aún una integración completa. Así mismo, muchas de estas leyes y normas se encuentran actualmente en revisión. Principalmente se menciona la Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL/1993, “que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente”. La forma actual de esta Norma Oficial Mexicana está siendo revisada, puesto que, entre otros motivos, su interpretación resulta difícil para el generador de residuos. En la lista no se incluye la gran cantidad de nuevos reglamentos que comprenden los requisitos para el transporte de sustancias y residuos peligrosos (véase el capítulo sobre transporte)

De acuerdo a la definición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (**LGEEyPA**), Art. 3, Fracciones XXVI y XXVII, los residuos se definen como cualquier material, generado en procesos de extracción, obtención, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuyas características no permitan utilizarlo nuevamente en el proceso del que proviene. Esta normativa también los prescribe como aquellos residuos en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, radiactivas, tóxicas, inflamables y biológicas pueden causar algún peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente.

Las Leyes, Reglamentos y Normas más importantes se relacionan a continuación:

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988).**
- **Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos (1988).**

Normas oficiales mexicanas (NOM):

NOM-052-ECOL/1993: Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-053-ECOL/1993: Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-054-ECOL/1993: Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más de los residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana **NOM-052-ECOL/1993:**

NOM-002-SCT2-1994: Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.

NOM-003-SCT2-1994: Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.

NOM-004-SCT2-1994: Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

NOM-005-SCT2-1994: Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-006-SCT2-1994: Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.

NOM-007-SCT2-1994: Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.

NOM-009-SCT2-1994: Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-043-ECOL-1993: Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

NOM-051-ECOL-1993: Que establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consume por las fuentes fijas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Algunas de las regulaciones no competen directamente a la industria fundidora, por lo que a continuación se enlistan brevemente los requisitos más importantes a considerar:

Para las fundidoras de metales no ferrosos y ferrosos, los tipos de residuos incluidos en los listados se reduce a algunos pocos, entre los que se pueden nombrar las arenas gastadas de fundición, escorias y polvos del horno, así como material y materia auxiliar gastados del mantenimiento. La peligrosidad dependerá naturalmente del metal a fundir.

La **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente** impone evidentemente, al generador de residuos, solo requisitos muy generales.

El **Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos** (Artículo 8) es la regulación principal, que impone los requisitos que las empresas de fundición deben considerar. Sin embargo, los requisitos específicos se presentan a nivel de Normas Oficiales Mexicanas.

El Reglamento establece la obligación del generador de residuos peligrosos para darles una disposición final adecuada, así como su clasificación correcta. A nivel nacional, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología, es la autoridad en materia de los residuos peligrosos,

especialmente para las autorizaciones correspondientes al manejo de residuos peligrosos incluyendo los trámites administrativos y legales necesarios.

En cuatro tablas de los Anexos de la NOM-052-ECOL/1993 (Anexos 2 y 3, Tabla 1 y 2, respectivamente; Anexo 4, Tablas 3 y 4), se presentan los residuos peligrosos que ya han sido caracterizados y que por lo tanto no requieren análisis CRETIB. Se incluye el Código CRETIB y el Número INE correspondiente. El diagrama de flujo en el anexo 1, proporciona las directrices para el procedimiento de identificación de residuos peligrosos.

En el Anexo 5 (Tablas 5, 6 y 7), se establecen para 53 residuos las características de lixiviados, que los hacen peligrosos por su toxicidad al ambiente, si se rebasa los valores límites permitidos.

La NOM-053-ECOL-1993 establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción de compuestos tóxicos de las muestras de residuos.

III. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS Y LOS TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS.

III.1 Fundidoras de Metales Ferrosos.

Las etapas importantes por la generación de residuos en el proceso de la fundición de metales ferrosos, son la fabricación de los moldes y corazones a base de arena y diferentes aglutinantes (moldeo), la fundición de los metales y el vaciado del metal líquido en los moldes (fundición), la limpieza de las piezas fundidas (maquinado) y la recirculación de las arenas gastadas.

La fundición en lingotes consiste en un vaciado en moldes permanentes de acero, de hierro fundido resistentes a altas temperaturas o de otros metales enfriados con un sistema alterno, de formas geométricas muy sencillas y requeridas en grandes cantidades. Por lo anterior, este tipo de fundición se aplica solo en pequeñas proporciones.

La evaluación de la información proporcionada por conceptos de manejo de residuos para las fundidoras de metales ferrosos elaborado en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México permitió dividir el proceso de producción en etapas y procesos técnicos de trabajo, que se presentan a continuación, indicando los correspondientes tipos de residuos. Es posible que se presente alguna redundancia, ya que en diferentes fundidoras los residuos son mezclados y no es posible agruparlos dentro de un solo paso del proceso, o para empresas pequeñas, los residuos no se encuentran clasificados de acuerdo a su lugar de origen.

Los tipos de residuos que se mencionan posteriormente, se registraron para cada uno de los pasos del proceso productivo donde se generan y con la denominación dada durante la visita a la empresa. Frecuentemente la denominación es propia de la empresa, por lo tanto normalmente no coinciden con los nombres del catálogo oficial de residuos o muchas veces no están enlistados. No se pudo determinar si se trata de un residuo peligroso en particular, porque no existía la analítica respectiva o la clasificación CRETIB, por lo cual solamente se integró un listado de todas las clases de residuos encontrados.

ETAPAS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.

Fundición.

El fundido de los metales se lleva a cabo en hornos de calentamiento (hornos de cubilote, hornos de inducción, hornos eléctricos) con incorporación de diferentes elementos de aleación y sustancias adicionales. Para el vaciado del metal, cuya temperatura debe estar naturalmente por encima del punto de fusión, el metal líquido se transfiere a un caldero. Los residuos generados en esta etapa son escorias, pedacería de material refractario y otros materiales, que las empresas fundidoras los registran bajo los siguientes conceptos (ver Tabla 1).

TABLA 1. RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS.

Polvos	Tierras de recuperación
Escorias	Escorias de fundición
Lodos	Lodos con contenido de metales del lavador de gases
Materiales gastados de producción	Material refractario del horno (ladrillo y piedra caliza) y crisoles

Actualmente los residuos generados son depositados tanto en basureros que no cuentan con medidas de seguridad, como en rellenos sanitarios con sistema de impermeabilización y recolección de lixiviados.

Moldeo y Desmoldeo (Moldes de arena).

En la fabricación de los moldes de arena se generan restos de material que contienen aglutinantes no endurecidos todavía (ver Tabla 2). Durante la colada (vaciado) se generan escorias y restos de metales. En el desmoldeo se generan arenas gastadas que estaban expuestas a diferente tensión térmica. Durante el proceso de fundición, las arenas de corazones están más expuestas a tensiones y efectos térmicos por lo cual presentan granos fracturados y aglutinantes quemados. Las arenas de moldeo, excepto

de algunas áreas no son tan expuestas a tensiones y efectos térmicos por lo cual son más aptos a un proceso de recuperación. Por este motivo, las cajas de moldeo y las arenas de corazones deben mantenerse, en la medida de lo posible, separadas, en especial cuando contienen diferentes aglutinantes.

Las alternativas de recuperación de arenas gastadas de la fundición se describen en el Capítulo V.

TABLA 2. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL MOLDEO Y DESMOLDEO EN FUNDIDORAS DE METALES FERROSOS

Arenas de fundición gastadas	Arenas quemadas o gastadas de moldeo y desmoldeo, arena sílica quemada Arenas de corazones
Escorias	Escorias de fundición de hierro y acero

La disposición de los residuos generados en el moldeo y desmoldeo se lleva a cabo, siempre y cuando las arenas no sean sometidas a una recuperación interna, en basureros o rellenos sanitarios. Las escorias y arenas se incorporan también ya sea como material de construcción de pavimento en la misma empresa, o externamente en la construcción de carreteras.

Maquinado (Esmerilado y Pulido).

La limpieza y ajuste de las piezas fundidas a sus medidas finales se realiza mediante procesos de maquinado que incluyen operaciones de esmerilado y pulido, así como impactandolas con arena o partículas metálicas (granallado), generando los polvos presentados en la Tabla 3.

Estas operaciones son básicamente mecánicas, por lo que muchas requieren de aceites de corte y lubricantes para facilitar el trabajo, así como evitar el desgaste prematuro del equipo.

Las operaciones de maquinado encontradas en las industrias varían ampliamente entre sí, por lo que la generación de residuos dependerá de la operación de maquinado a la que el producto se vea sujeta.

TABLA 3. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS EN LA FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS.

Polvos	De hierro mezclado, polvos del granallado y del sand-blasteo, residuos metálicos de operaciones de esmerilado, residuos del pulido (pasta y pelusa de tela), cepillos impregnados de pasta y metales
---------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Actualmente estos polvos se reciclan y reusan parcialmente, de lo contrario se depositan en los basureros o rellenos sanitarios.

Residuos asociados a las operaciones de mantenimiento de todas las áreas de la planta fundidora.

En el manejo de la maquinaria o el mantenimiento de la misma, especialmente de las mallas de cribado, mezcladoras de arena, prensas, pulidoras y esmeriles se generan **aceites gastados**, utensilios de trabajo impregnados con aceites y grasas como trapos, estopas y guantes. Cabe resaltar que en varias ocasiones la industria no tiene cuantificado el dato exacto sobre la generación, los datos proporcionados correspondían a estimaciones en compra de estopa, trapos y guantes como materia auxiliar en el mantenimiento. Estos residuos se depositan generalmente en los basureros o rellenos sanitarios.

III.2 Fundidoras de Metales No Ferrosos.

En las fundidoras de metales no ferrosos se utilizan principalmente aluminio, bronce, plomo, magnesio, latón, zamak y zinc. Los procesos de fundición más frecuentemente usados son, por una parte el vaciado en moldes de arena, y por otro en máquinas de inyección a presión, en el cual el metal ya líquido se prensa en moldes de acero. Los residuos generados por estos procesos son principalmente natas y escorias. Especialmente en procesos donde los hornos de fundición se encuentran separados de las máquinas inyectoras a presión, la generación de escorias es muy alta.

En el caso de la colada en moldes de arena, se generan arenas quemadas, que en algunos casos resultan ser demasiado pocas para que la recuperación sea rentable. El Capítulo V, presenta alternativas de recuperación, reciclaje y reuso.

La evaluación de la información proporcionada por conceptos de manejo de residuos para las fundidoras de metales ferrosos elaborado en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México resultó en el listado de las etapas del flujo de proceso y formas de trabajo presentados a continuación, indicando los correspondientes tipos de residuos. Es posible que se presente alguna redundancia, ya que en diferentes fundidoras los

residuos son mezclados y no permiten agruparlos dentro de un paso de proceso, o para empresas pequeñas, los residuos no se encuentran clasificados de acuerdo a su lugar de origen.

Fundición de Metales No Ferrosos.

La fundición de los diferentes metales se lleva a cabo en hornos de crisol, de cubilote, de piso, de inducción o de reverbero.

Los residuos generados se presentan en la tabla 4.

TABLA 4. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS.

Polvos	Polvos recolectados del horno
Escorias	Escorias de bronce, aluminio, cobre, estaño, zinc y aleaciones de zamak, latón y bronce
Lodos	Lodos del lavador de gases
Materiales gastados de producción	Material refractario del horno (piedra caliza y ladrillo) y crisoles

Actualmente los polvos o lodos generados en el área de los hornos de fundición son sometidos a un tratamiento para su recuperación, o eventualmente se depositan en los basureros al igual que la materia refractaria (ver Tabla 13). Las escorias de los diferentes metales no ferrosos se recuperan, o se depositan en basureros o rellenos sanitarios.

Los crisoles de carburo de silicio se depositan o se reciclan.

Proceso de Vaciado (Colada).

En caso de que se empleen moldes de arena para las piezas a fundir, el tipo de arenas quemadas que se generan es comparable a las generadas en la fundición de metales ferrosos, salvo que estas contienen residuos de metales pesados.

En el proceso de fundición en máquinas de inyección a presión se generan otro tipo de residuos. Si la instalación de fundición se encuentra separada de la de inyección y el metal líquido se transfiere del caldero de fusión hacia la instalación de inyección manualmente con una cuchara, la cantidad de natas y escorias se incrementa considerablemente. Ya que en el momento de extraer el metal, la nata que se encuentra en la superficie del metal fundido se debe apartar y consecuentemente se

forma inmediatamente una nueva capa de natas sobre la superficie del metal reluciente que se mezcla con la nata ya existente y aumenta de esta forma el volumen de residuos.

Si el horno de fundición y el área de inyección se encuentran en una misma instalación, se evita la formación de escorias .

Los residuos generados actualmente en el área de la fundición son principalmente arenas quemadas, escorias y natas (ver tabla 5). Relativamente pocas empresas recuperan las arenas gastadas internamente en forma óptima.

Actualmente, la mayor parte de las arenas de moldeo se depositan en rellenos sanitarios o basureros municipales (ver tabla 13). Las escorias y natas se tratan internamente, o bien se venden para tratamiento externo o se depositan también en estos basureros. En el Capítulo V se describen medidas para la prevención y minimización de estos residuos.

Los residuos generados en el área de la fundición de metales no ferrosos se enlistan en la tabla 5.

TABLA 5. RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE VACIADO Y DESMOLDEO EN LA FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS.

Arenas	Arenas de moldeo, desmoldeo y de corazones quemadas o gastadas (fabricados a base de aglutinantes como bentonita, silicatos de sodio y resinas orgánicas)
Escorias	Escorias de aluminio, cobre, plomo estaño y zinc y escorias de bronce, latón y de zamak, natas de aluminio y de zamak y salpicaduras de zamak
Medios de producción gastados	Crisoles de carburo de silicio, fibras cerámicas y material refractario del horno
Aceites y/o materiales impregnados con aceite	Aceites lubricantes de mantenimiento gastados y desmoldantes.

Maquinado (Esmerilado y Pulido).

En la Tabla 6 se presentan los residuos generados en procesos mecánicos como esmerilado, pulido y afilado de los metales. La mayor parte de las partículas metálicas que se generan son directamente reincorporadas al proceso de fundición.

TABLA 6. RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS EN FUNDIDORAS DE METALES NO FERROSOS.

Polvos	Polvos y pelusas
Residuos de maquinado	Restos de esmerilado
Residuos de metales	Rebaba de ductos de inyección, chatarra, recortes y rebaba de las diferentes aleaciones
Aceites o utensilios de trabajo impregnados con aceite	Tropos, estopas y guantes viejos de lona usados

Actualmente de los residuos generados, en algunos casos las rebabas se reintegran al proceso en las mismas empresas o se venden para su reuso o reciclaje externo. Los residuos del pulido y afilado se depositan en basureros o confinamientos controlados (ver Tabla 13) o se venden o entregan para ser reciclados externamente. Los aceites de enfriamiento o lubricantes gastados se reutilizan en su mayor parte en las cementeras como combustible alterno. Las pequeñas y micro empresas se enfrentan al problema de que generan cantidades muy pequeñas de aceite o lubricantes gastados al año, con lo que el interés de recolectarlos por las empresas que lo reutilizan no es muy grande. Las estopas impregnadas de aceite y los guantes se depositan o lavan y se reusan. El lavado se recomienda solamente cuando las aguas generadas en este proceso puedan ser tratadas de manera adecuada.

Frecuentemente las piezas fundidas y maquinadas se someten posteriormente a un proceso de acabado, como pulido, desengrase o limpieza del metal, galvanizado, laqueado o pintado. Los residuos generados en estos procesos no se presentan en este manual, sino en los manuales de los giros industriales correspondientes.

En las siguientes tablas 7a y 7b se presentan otra vez en forma resumida los procesos de fundición aplicados en las fundidoras de metales ferrosos y no ferrosos con moldes fijos y desechables.

Los residuos que se originan en las fundiciones muchas veces no se pueden utilizar directamente en la forma como se originan. Hay que darles un tratamiento adecuado como se aplica por ejemplo para arenas gastadas, escorias y natas.

IV. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE RESIDUOS.

En este Capítulo se enlistan los principales tipos de residuos, incluyendo residuos potencialmente peligrosos de fundiciones. Para el caso particular de cada residuo se debe analizar si se trata de un residuo peligroso o no. Dado que en muchos casos las empresas visitadas no disponían de la información adecuada y suficientemente específica para poder realizar esta evaluación, en este manual no se pueden dar las indicaciones al respecto.

En Alemania, la situación está más clara porque el reglamento para la declaración del manejo de residuos peligrosos define 332 diferentes residuos como residuos peligrosos y les asigna alternativas de manejo y de disposición. Si en un caso particular se ordena el control del manejo y disposición, dependerá también de los resultados del análisis.

IV.1. Fundidoras de Metales Ferrosos.

Las cantidades principales de residuos en las fundiciones de metales ferrosos son arenas gastadas de fundición, que se llaman también arenas gastadas o quemadas, arena de corazón o arena de fundición. Otros residuos son escorias de los hornos de fundición, polvos del tratamiento de gases de emisión y del colector, polvos de las plantas de tratamiento de arenas gastadas, material refractario de las paredes de los hornos, polvos del esmerilado y polvos de sand-blasting, restos de aditivos, envases de materia prima con restos, trapos impregnados con aceite, aceites gastados y residuos industriales similares a residuos municipales.

TABLA 7A. PANORAMA DE POSIBLES PROCESOS DE MOLDEO Y VACIADO CON MOLDES DESECHABLES

Tipo de molde	Moldes desechables					
Tipo de modelo	Modelos fijos				Modelos de un solo uso	
Proceso	Moldes manuales	Moldes de máquina	Moldes con máscaras	Moldes de cerámica	Fundición fina (Procesos de fundición de cera)	Moldes de fundición para obtener piezas macizas sin cavidades o huecos
Materiales a procesar	Todos los metales	Todos los metales	Todos los metales	Todos los metales	Todos los metales	Todos los metales
Rango de peso (Valores aprox.)	Sin límite, los equipos para transportar y la capacidad de fundición determinan los límites	Hasta varias toneladas, limitado por el tamaño de los equipos	Hasta 150 kg	Hasta 1000 kg	1 g hasta varios kg (En casos especiales hasta 100 kg)	Sin límite, (Limitado por la capacidad del transporte): especialmente apto para partes pesadas
Rango de cantidades (Valores aprox.)	Partes individuales, series pequeñas	Series pequeñas hasta grandes	Series medianas hasta grandes	Partes individuales, series pequeñas hasta medianas	Series pequeñas hasta grandes	Partes individuales, series pequeñas, en caso de partes adecuadas producción en serie

TABLA 7B. PANORAMA DE POSIBLES PROCESOS DE MOLDEO Y VACIADO CON MOLDES FIJOS

Tipo de molde	Moldes fijos			
Tipo de modelo	Sin modelo			
Procedimiento	Fundición a presión	Fundición en coquilla o en lingote	Colado por centrífuga	Colado continuo
Materiales a procesar	Aleaciones para la fundición a presión con base en Al, Mg, Zn, Cu, Sn o Pb (materiales ferrosos en desarrollo)	Metales ligeros, aleaciones especiales de cobre, zinc fino, hierro fundido con grafito de laminilla y de bolas	Hierro fundido con grafito de laminilla y de bolas, acero fundido, metales ligeros, aleaciones de cobre	Hierro fundido con grafito de laminilla y de bolas, acero fundido, aleaciones de cobre
Rango de peso (Valores aprox.)	Aleaciones de Al: hasta 45 kg Aleaciones de Zn: hasta 20 kg Aleaciones de Mg: hasta 15 kg Aleaciones de Cu: hasta 5 kg (Limitado por el tamaño de la máquina para la fundición a presión)	Hasta 100 kg (En casos especiales aún más)	Hasta 5000 kg	Dependiendo del diámetro, hasta varias toneladas
Rango de cantidades (Valores aprox. en piezas)	Producción en serie, durabilidad del molde: Al \approx 500,000 Zn \approx 100,000 Mg \approx 80,000 Cu \approx 10,000	Producción en serie, durabilidad de la coquilla/lingote: Al \approx 100,000	Producción en serie, durabilidad de la coquilla/lingote: 5000 - 100,000 dependiendo del tamaño de la pieza, del material para la fundición y de la clase de coquilla/lingote.	El largo de la colada depende de la máquina

En las visitas técnicas a las empresas de fundición de metales ferrosos, en el marco de la elaboración de conceptos para el manejo de residuos, se encontraron los siguientes residuos:

TABLA 8. RESIDUOS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES PROCESOS Y OPERACIONES EN LA FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS ENCONTRADOS DURANTE LAS VISITAS TÉCNICAS.

Arenas	Arena de fundición, Arena quemada, Arena sílica quemada
Polvos	Polvos de hierro mezclado con esmeril, Polvos de hierro gris del esmerilado, Polvos de hornos eléctricos, Polvos de sand-blasting, Residuos de esmerilado
Escorias	Escoria
Residuos metálicos	Rebaba de ductos de inyección, Rebaba de hierro, Rebaba de hierro colado, Residuos de rebaba de hierro lavado con solventes
Medios de producción gastados	Piedra caliza, Material refractario
Aceites y medios de trabajo impregnados con aceite	Aceite gastado, Aceites residuales, Estopa
Residuos industriales similares a residuos municipales	Basura, Cartón, Papel, Plástico, Estopa, Residuos municipales
Material de empaque	Sacos de plástico o papel para materia prima

IV.2. Fundidoras de Metales No Ferrosos.

Las cantidades principales de residuos en las fundidoras de metales no ferrosos son escorias y natas, que se forman en la fundición de Aluminio, Plomo, Bronce, Magnesio, Latón, Cobre, Zinc y Zamak, así como también los residuos del maquinado de las piezas fundidas (Ver tabla 9). También se originan arenas gastadas de fundición al igual que en la fundición de Hierro y Acero, pero en cantidades considerablemente más pequeñas. Otros residuos son polvos del proceso de esmerilado y de pulido, envases vacíos para materia prima o impregnados con restos de materia prima, residuos de solventes y otros líquidos de limpieza gastados así como también aceites gastados.

En las visitas técnicas a las fundidoras de metales no ferrosos, con la meta de elaborar conceptos para el manejo de residuos, se encontraron los siguientes tipos de residuos.

TABLA 9. RESIDUOS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES PROCESOS Y OPERACIONES EN LA FUNDICIÓN DE METALES NO FERROSOS ENCONTRADOS DURANTE LAS VISITAS TÉCNICAS.

Arenas	Arenas de moldeo y desmoldeo quemadas o gastadas y arenas de corazones
Polvos	Polvos de los diferentes metales y aleaciones
Escorias	Escoria de aluminio, Escoria de latón, Escoria de plomo, Escorias de bronce, Escorias de cobre, Escorias de estaño, Salpicaduras de Aluminio y de Zamak, Costra de zinc
Residuos de esmerilado y pulido	Residuos de operaciones de esmerilado, Residuos de bronce del esmerilado, Residuos de tela
Residuos metálicos	Rebaba de Zamak, Rebaba de aluminio, Rebaba de latón, Residuos y recorte de rebaba de Zamak, Residuos de acero
Lodos	Lodos de tratamiento de aguas residuales, Lodos de lavador de gases,
Medios y auxiliares de producción gastados	Compuestos de parafina, Material refractario del horno (Ladrillo y Piedra caliza), Yeso para moldeo, Poleas de tela y crisoles
Aceites y medios de trabajo impregnados con aceite	Tropos, estopas y aserrín impregnados con aceite y desmoldante a base de aceite.
Residuos industriales similares a residuos municipales	Basura, Residuos municipales
Empaques y envases	Material de empaque, Recipientes vacíos de materia prima, Sacos vacíos de la materia prima

Las siguientes claves de residuos, que están enlistados en la NOM-052-ECOL/1993, “que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente”, aplican para el área de fundición (Tablas 10 y 11). Si la aplicación del procedimiento de clasificación o la respectiva analítica lo requiere, esta lista se debe ampliar. Como ejemplo se mencionan las arenas gastadas de fundición, que faltan en la lista pero muchas veces contienen materiales tóxicos y también se generan en grandes cantidades.

TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS POR GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO (NOM-052-ECOL/1993).

No. de giro	Giro industrial y proceso	Residuo peligroso	No. INE
1.1	Producción en general	Lodos de tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado de metales para remover soluciones concentradas	RP1.1/01
18.1	Producción en general	Residuos ácidos o alcalinos	RP18.1/05
2.2	Fundición de plomo secundario	Lodos y polvos del equipo de control de emisiones del afinado	RP2.2/01
		Escorias provenientes del horno	RP2.2/02
		Lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales	RP2.2/03
		Lodos provenientes del lavador de gases que provienen del proceso del afinado	RP2.2/04
2.3	Producción de aluminio	Lodos de las soluciones de cal del lavador de gases en la fundición y refinado de aluminio	RP2.3/01
		Escorias provenientes del horno	RP2.3/03
2.5	Producción secundaria de cobre	Escorias provenientes del horno	RP2.5/01
2.7	Producción de hierro y acero	Residuos del aceite gastado	RP2.7/01
		Lodos y polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos	RP2.7/03
2.8	Producción de aleaciones de hierro	Escorias provenientes del horno	RP2.8/03
8.1	Producción en general	Aceites gastados de corte y enfriamiento en las operaciones de talleres de maquinado	RP8.1/01
		Residuos provenientes de las operaciones de barrenado y esmerilado	RP8.1/02
		Residuos de las operaciones de limpieza, alcalina o ácida	RP8.1/04
		Pinturas, solventes, lodos, limpiadores y residuos provenientes de las operaciones de recubrimiento, pintado y limpieza	RP8.1/05

TABLA 11. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS POR FUENTE NO ESPECÍFICA (NOM-052-ECOL/1993).

No. de fuente		Residuo peligroso	No INE
1.1	Fuentes no específicas		
		Envases y tambos vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos	RPNE1.1/01
		Aceites lubricantes gastados	RPNE1.1/03

La NOM-052-ECOL/1993 todavía está vigente, aunque se encuentra en proceso de modificación. Para tomar la decisión si un residuo es peligroso o no, se debe examinar primero si el material está en una de las 4 tablas del anexo de la NOM-052-ECOL/1993. (Tabla 1, 2, 3 y 4). Si no está, se deben determinar las características CRETIB.

V. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN.

V.1. Medidas Generales de Prevención.

A continuación se presentan algunas medidas para evitar o reducir los residuos, de acuerdo al estado del arte de la tecnología en la materia. Estas medidas deben ser la base para que las empresas puedan abordar de forma independiente el problema de generación de residuos y mejorar la situación ambiental. En colaboración con autoridades, asociaciones, empresas de tratamiento y empresas del reuso/reciclaje, se pueden conseguir soluciones completas o parciales para evitar o minimizar las cantidades de residuos generados. En las evaluaciones se debe considerar también el factor de costos. Por ejemplo puede ser más razonable reusar arenas gastadas de fundición en vez de tratarlas y reciclarlas laboriosa y costosamente.

Introducción de medidas para evitar y reducir la generación de residuos.

Antes de contactar el servicio de expertos externos, la empresa puede por sí misma realizar una parte de los trabajos preparatorios para la selección de medidas y procedimientos apropiados. Estos trabajos preparatorios incluyen sobre todo un diagnóstico detallado del estado actual de las cantidades y las composiciones de todos los flujos de materiales y residuos. Este diagnóstico del estado actual es el requisito para la

planeación posterior y la decisión sobre las medidas para evitar o reducir residuos. Con base en este diagnóstico, pueden identificarse algunas medidas de bajo costo que logran reducir o evitar residuos.

El primer paso es identificar el estado actual de los procedimientos industriales, lo que se realiza a través de:

- un balance de cantidades de los flujos de materiales existentes en la empresa,
- un estudio de la composición de los materiales encontrados, y
- la determinación de los costos de la materia prima y de los costos generados por la eliminación.

Se deben registrar los flujos del material que entra y que sale, así como sus respectivas composiciones de la forma más exacta posible.

La evaluación del registro del estado actual debe llevar a los siguientes resultados:

- Transparencia del proceso completo con respecto a los flujos de materiales existentes y su efecto sobre la generación de residuos y las posibilidades de reciclar/reusar o disponer el residuo.
- Localización de las fuentes principales de residuos.
- Localización de procesos con alta generación de productos fuera de especificación.
- Localización de procesos con alta generación de residuos
- Localización de procesos con insumos y residuos generados que involucran altos costos.

Las medidas que se pueden deducir de esta información se dividen en medidas específicas por materiales y por procesos, y medidas organizativas para evitar o reducir los residuos generados.

Medidas Específicas.

En los conceptos de manejo de residuos de las respectivas fundidoras, elaborados por los expertos mexicanos, se enlistan las medidas que a continuación se describen, que son específicas para cada uno de los rubros de materiales, producción, procesos y organizativas. El siguiente listado consta de medidas que ya están realizándose individualmente en las empresas mexicanas y por otra parte, también contiene recomendaciones elaboradas por los técnicos que realizaron las visitas a las industrias.

Fundición de Metales Ferrosos.

- Las arenas gastadas de fundición se pueden tratar en volúmenes suficientemente grandes y volver a reutilizar directamente en la empresa (por su gran importancia para el manejo de residuos en fundidoras, ver punto “Arenas y aglutinantes” en especial para esta medida).
- Reuso de arenas gastadas de fundición en la producción de cementos y ladrillos y en mezclas con asfalto.
- Recuperación de partículas metálicas residuales de “sand-blasting” y granallado.
- Reducción del consumo de aglutinantes para la producción de moldes.
- Análisis del contenido de contaminantes en los residuos.
- Señalamiento claro de los contenedores para recolectar residuos.
- Instalación de un área de almacenamiento separado para escorias.
- Los aceites gastados generados en cantidades pequeñas se deben eliminar en cooperación con otras empresas.
- Los aceites gastados en mayor volumen se deben reciclar externamente, si es razonable.
- Los aceites gastados que no son adecuados para un reciclaje, se pueden reusar como combustible alternativo.
- Se deben instalar electrofiltros (precipitación electrostática) o lavadores de gases para tratar el flujo de gas proveniente del horno.
- Introducción de un sistema de manejo de residuos incluyendo una capacitación adecuada de todos los trabajadores/obreros involucrados en el manejo de residuos.

Fundición de Metales No Ferrosos.

- Las arenas gastadas de fundición se pueden tratar en volúmenes suficientemente grandes y volver a reutilizar directamente en la empresa (ver punto “Arenas y aglutinantes”).
- Los restos de metales pesados se deben eliminar de las arenas gastadas de fundición para hacerlas reutilizables.
- Los polvos de esmerilados se deben almacenar separados por tipo de metales.
- Las salpicaduras y escorias se pueden volver a fundir.
- Las escorias se deben almacenar separadas por metales.
- Sustituir los moldes de arena por coquillas en grandes series de producción.
- Se deben instalar electrofiltros (precipitador electrostático) para tratar el flujo de gas proveniente del horno.
- Establecer un sistema de flujo circuito cerrado para ahorrar agua de enfriamiento.
- Las máquinas de inyección deben estar en tinas o bandejas para retener derrames de aceite.
- Señalamiento claro de los contenedores para recolectar residuos.
- Los aceites gastados en cantidades pequeñas se deben eliminar en cooperación con otras empresas.

- Los aceites gastados en mayores volúmenes se deben tratar externamente si es razonable (reciclaje/reuso).
- Los aceites gastados que no son adecuados para un reciclaje, se pueden reusar como combustible alternativo.
- Se recomienda incinerar los materiales impregnados con aceite en las cementeras, dado que las aguas residuales no son tratadas especialmente en las lavanderías especializadas en el tratamiento de estos materiales. Además existe el peligro de que los trapos lavados contengan virutas metálicas que representan un riesgo para el personal si se vuelven a utilizar.
- Se debe reducir el consumo de lubricantes desmoldantes para los moldes de fundición.
- Debe realizarse un exámen analítico de las escorias para saber si son residuos peligrosos y de ahí deducir donde se pueden depositar.
- Implementación de un sistema de manejo de residuos incluyendo una capacitación adecuada de todos los colaboradores.

V.2. Medidas Específicas de Prevención por Proceso.

Se pueden aplicar exitosamente las medidas específicas por procesos para reducir residuos industriales.

Para la fundición de metales ferrosos y no ferrosos se utilizan hornos eléctricos o calentados con combustibles.

- I. Hornos eléctricos:
Horno de arco eléctrico, horno de inducción, horno de resistencia.
- II. Hornos cubilote:
Horno de cubilote con aire caliente, horno de cubilote con aire frío, horno cubilote sin coque.
- III. Hornos de crisol:
Calentado con gas o con combustóleo.
- IV. Hornos rotatorios:
Calentado con gas o con combustóleo.

Los combustibles más comunes en México para fundir metales son gas natural, gas L.P. y en menor cantidad diesel y combustóleo. El estado del arte de la tecnología presenta cada vez más frecuentemente el horno eléctrico. El calor de los quemadores funde el metal directa o indirectamente. Se sigue calentando para llegar al sobrecalentamiento requerido del metal fundido para poder transportarlo a los moldes y vaciarlo en ellos.

Una calidad homogénea de la fundición solamente se alcanza examinando el peso y las características físico-químicas de la materia prima. Todos los materiales de la aleación necesitan tener suficiente tiempo para disolverse. Así se consigue una alta homogeneidad de la fundición y de la decantación y al mismo tiempo, una reducción de material fuera de especificación.

Se puede reducir la cantidad de residuos generados en los hornos viejos, no rentables, que utilizan combustibles, sustituyéndolos por modernos hornos eléctricos o por hornos con sistemas de combustible que cuentan con recuperadores, precalentamiento de metales y del aire de combustión y con instrumentos de control para optimizar el proceso de fundición. Además se pueden reducir los materiales residuales instalando un control electrónico de los ciclos de sobrecalentamiento, aplicando una disminución de la atmósfera oxidante dentro del horno por una tapadera y seleccionando el material de recubrimiento de la pared del horno que sea resistente y adecuado al material a fundir.

Prácticamente todas las fundidoras vuelven a fundir material fuera de especificación que originan en su empresa (escoria, pedacería y recortes). Estos residuos metálicos generados en el proceso de fundición de la propia empresa, deben almacenarse separados y clasificados por aleaciones y reusarse. La refundición continua causa pérdidas progresivas de los elementos evaporables y el enriquecimiento de otros elementos. Esto hace necesario controlar periódicamente el contenido del metal circulatorio.

En este contexto se quiere mencionar que muchos de los metales utilizados para la fundición, especialmente los metales pesados utilizados para las fundiciones de metales no ferrosos, pueden ser nocivos para la salud en forma de polvo o humo. También algunos de los sistemas de aglutinantes para la producción de los moldes pueden ser nocivos para la salud. Deben observarse las respectivas indicaciones de los proveedores con respecto al manejo apropiado de los materiales y las medidas de seguridad vigentes.

Medidas Específicas para Fundidoras de Metales Ferrosos.

Uno de los principales residuos generados en las fundiciones de metales ferrosos, son las arenas gastadas las que comprenden: arenas de moldeo y desmoldeo y arenas de corazones. La cantidad generada es cinco veces mayor al peso de las piezas fundidas. Otros residuos generados son las escorias y natas del proceso de fundición y de colado. En cantidades menores se generan residuos de esmerilado y de sand-blasting, así como también aceites gastados y otros residuos asociados al mantenimiento.

Arenas y Aglutinantes.

Los moldes de arenas para la fundición normalmente consisten de varias piezas: un molde externo constituido de varias partes y diferentes corazones. El molde externo se fabrica principalmente a base de arenas aglutinadas con bentonita y los corazones a base de arenas, aglutinados con resinas para obtener una mayor estabilidad requerida en el proceso. Al desmoldar las piezas fundidas, se recolectan conjuntamente los moldes rotos y los corazones. Como consecuencia se obtiene una mezcla de arenas gastadas con varios tipos de aglutinantes de los moldes y de los corazones. Sin embargo se pueden volver a utilizar después de un tratamiento adecuado.

Solamente en casos especiales la regeneración de las arenas gastadas de fundición se requiere separar todos los contaminantes de la arena. Por razones económicas, la meta de la regeneración tiene que ser la transferencia de la arena gastada a un estado reutilizable dependiendo de los requerimientos del moldeo, que después de mezclarlas con arena nueva se pueden reintegrar al ciclo de la arena sin efectos tecnológicamente negativos.

Los moldes y corazones fabricados a base de arenas con aglutinantes se utilizan solamente para una sola fundición. Para esto se emplean varios tipos de arena. Las arenas son partículas minerales con un tamaño de grano desde 0.05 hasta 2 mm de diámetro. Generalmente en la fundición se utilizan arenas de cuarzo para la producción de moldes y corazones que tienen un rango amplio de tamaño, distribución y forma de grano. Existen arenas naturales con un contenido de arcillas como aglutinante y arenas sin aglutinante, que son en su mayoría arenas de cuarzo con diferentes especificaciones. Para aplicaciones especiales están disponibles arenas de olivino con una resistencia al fuego más alta que las arenas de cuarzo, así como también arenas de circonio, que se caracterizan por su alta conductividad de calor y su alta resistencia al fuego.

Las arenas que originalmente no contienen aglutinantes se mezclan con estas para la producción de moldes y corazones. Los aglutinantes están compuestos por minerales inorgánicos y diferentes arcillas (arcilla de caolinito y de montmorillonito) o materiales orgánicos a base de resinas (aglutinante de resina de fenol-formaldehído, aglutinante de resina de furano o de fenol, aglutinante de resina fría de uretano, aglutinante de parafina-uretano, aglutinante de resina fría de fenol-uretano y sistemas de amino-fenol-uretano), aglutinantes inorgánicos a base de silicatos que se endurecen por tratamiento con bióxido de carbono o aglutinantes vegetales a base de productos de hidrocarburos (Mezclados con fécula).

Los aglutinantes para la arena de moldeo tienen que garantizar la consistencia del molde de arena durante el proceso de fundición. Después de la fundición, se desea una desintegración fácil del molde. El tipo de aglutinante determina el proceso factible del tratamiento a la arena, que puede ser mecánico, térmico o hidromecánico.

Una serie de diferentes criterios determinan la selección del aglutinante para la arena de los moldes y corazones:

- Calidad mecánica de los moldes y corazones.
- Aptitud para el reciclaje.
- Peso de fundición.
- Número de piezas.
- Seguridad en el proceso.
- Rentabilidad.
- Aspectos de la protección al medio ambiente.

El tipo de sistema de aglutinamiento usado determina en un alto grado la compatibilidad de las arenas regeneradas y por lo cual tiene gran influencia en su reuso/reciclaje. La compatibilidad de sistemas regenerados se resume en la tabla 12.

Métodos de Moldeo Físicos.

En la fundición, cada vez es más frecuente el uso de métodos físicos de moldeo que no requieren de materiales aglutinantes. Al someterse a una compresión por golpeteo, la arena de moldeo es presurizada súbitamente con aire comprimido y se lanza desde el cilindro de arena hacia la cámara de moldeo en forma de una columna de arena compacta a través de una válvula . Por efecto del golpeteo y la presión, la arena es fuertemente comprimida en la superficie del molde estabilizándose. En el procedimiento de compresión mediante vacío se genera dentro de la cámara de moldeo una presión negativa de varias décimas de bar, y en la superficie de la columna de arena se genera una presión atmosférica. Con el método de compresión por impulso, una onda repentina de presión hace que se acelere primero la capa superior de la arena. Igual que en el caso de un choque, el impulso se transmite de capa en capa hasta ser frenado junto al modelo, y la arena experimenta ahí su máxima compresión.

Recirculación de Arena.

La arena de moldeo que se recupera, va acumulando impurezas que disminuyen la firmeza del molde y aumentan el consumo de materiales aglutinantes. En parte, esas impurezas son eliminadas del sistema junto con el polvo, y la arena de moldeo es renovada en cierta medida, por arena nueva. Para mantener en una fundidora el volumen circulante de arena en un nivel de calidad constante, se tiene que estar agregando cierta cantidad de arena nueva, y eliminarse la arena gastada.

El punto de partida para una optimización del reciclaje de arena cuyo esquema presentamos en la figura 1, es un registro detallado del flujo de material que se compara con un estado nominal ideal. Sólo en muy contados casos puede mantenerse el estado operativo registrado, lo más común es que para optimizar el manejo de arena, se requiera cambiar a otros sistemas de aglutinante para lograr una mejor compatibilidad entre ellos u orientar la tecnología existente de la instalación hacia una mejor captación separada de los diferentes sistemas de aglutinante.

TABLA 12. LA COMPATIBILIDAD DE ARENAS REGENERADAS CON DIFERENTES AGLUTINANTES

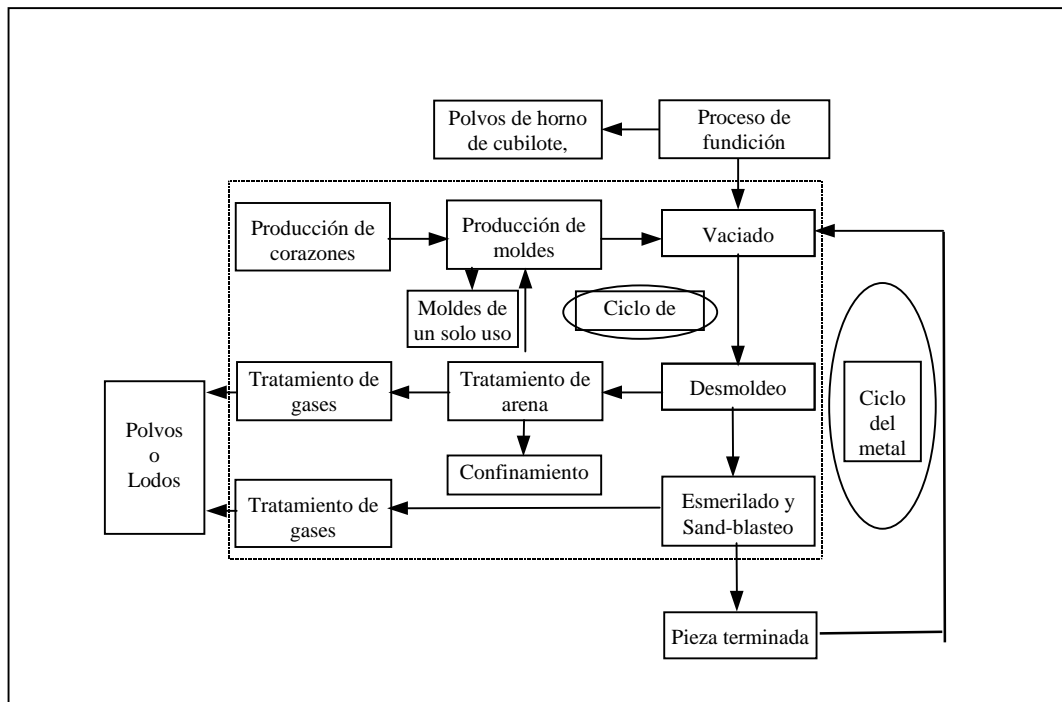
Sistema de origen		Sistema meta	Arenas de Bentonita	Arenas de Silicato de Potasio	Arenas de resina fría	Arenas de cámara caliente	Arenas de "Croning"	Arenas de cámara fría		
								Método de formiato metílico	Método de amina	Método de SO ₂
Arena de Bentonita			+	○	○	-	○	○	○	○
Arenas de silicato de Potasio			○	+	-	-	-	-	-	-
Arenas de resina fría			+	-	+	-	○	-	○	+
Arenas de cámara caliente			○	-	+	+	+	-	○	+
Arenas de "Croning"			+	+	+	+	+	+	+	+
Arenas de cámara Fría	Método de formiato metílico		○	+	-	-	-	○	-	-
	Método de amina		+	+	+	+	+	○	+	+
	Método de SO ₂		+	-	+	-	○	○	+	+

⊕ = Compatible, ○ = Compatible de manera condicional, - = no compatible

Al elaborar un concepto de optimización deben analizarse, sobre todo, las siguientes medidas:

- Cerrar al máximo los ciclos de arena (evitar fugas y reducir el desperdicio de arena).
- Reciclaje interno de los polvos metálicos con materiales reusables.
- Homogenización de los tipos de arena utilizados en la fabricación de moldes y corazones.
- Compatibilidad química y física de los sistemas aglutinantes utilizados.
- Mantener separadas las arenas usadas que contengan sistemas aglutinantes incompatibles (ver Tabla 12).
- Reducir la variedad de aglutinantes empleados.
- Usar los sistemas aglutinantes anteriormente mencionados cuya regeneración es factible.
- Optimizar la fabricación de corazones para poder reusarlos (dosificar la cantidad de aglutinante adecuada, así como usar el tipo más conveniente).
- Instalar sistemas internos de regeneración de arenas gastadas.
- Regeneración externa de arenas gastadas.
- Identificar aplicaciones de las arenas gastadas en otros giros industriales y canalizarlas.

FIGURA 1. PRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CICLO DE ARENA DE FUNDICIÓN.



Reciclaje de Arenas Gastadas.

El requerimiento mínimo con relación al reciclaje de arenas gastadas es la eliminación de polvo y granos finos mediante separación neumática. Los procedimientos que van más allá, son la regeneración mecánica, la térmica y la combinación de los procesos mecánicos y térmicos. Los procesos mecánicos eliminan las cubiertas de aglutinante de los granos de cuarzo por medio de fricción o golpes. Las cubiertas de aglutinante y otras impurezas en forma de polvo se extraen como fracción fina en el tamizado. Estos procesos mecánicos son adecuados para el reciclaje de arenas gastadas aglutinadas mediante bentonita. Las arenas gastadas aglutinadas por medio de resina sintética pueden ser regeneradas mecánicamente, en tanto que las cubiertas de aglutinante hayan quedado lo suficientemente quebradas en el proceso de fundición y las arenas regeneradas se vuelven a emplear en el mismo sistema de aglutinado. Si las arenas gastadas no han sido sometidas a una tensión o efecto térmico suficientemente alto durante la fundición, no se garantiza que la cubierta de aglutinante quede lo suficientemente quebrada, y la regeneración mecánica resulta incompleta.

Métodos Mecánicos:

En las **instalaciones neumáticas de “Sand-blasting”**, los granos de arena individuales son acelerados por una corriente de aire. La fricción de los granos entre sí o con partes de la instalación, así como el choque contra un obstáculo fijo llevan a que la cubierta de aglutinante se separe del grano por fricción o estallido. Este procedimiento mecánico implica para los granos de arena una gran tensión y por consiguiente, aumenta el porcentaje de quebraduras.

Los **tambores de fricción** separan las cubiertas del aglutinante a través de la abrasión de los granos de arena entre sí. También destruyen pequeños nódulos de arena de moldeo. Este procedimiento, que funciona mediante lotes, permite separar -a través de la abrasión y succión sistemática- una fracción de polvo que contiene un alto porcentaje de bentonita activa.

En la **limpiadora de rueda centrífuga** los granos de arena son lanzados desde un disco horizontal giratorio hacia un anillo de rebote. Mediante la abrasión de los granos entre sí y el choque contra el anillo de rebote, se separan las cubiertas del aglutinante.

En la **limpiadora de lecho fluidizado** se genera, a través de una corriente de aire en el fondo del aparato, un lecho turbulento, en el cual la arena gastada se limpia por la abrasión de los granos entre sí y además por la fricción con un mecanismo batidor giratorio. El polvo más fino se evacúa del sistema a través de la corriente de aire.

Métodos Térmicos:

Los métodos térmicos son adecuados, sobre todo, para regenerar arenas gastadas aglutinadas mediante resinas sintéticas, que contengan poca bentonita. Las sustancias aglutinantes orgánicas se queman completamente a temperaturas de entre 700 y 900° C. La fuerte tensión o efecto térmico sobre la arena lleva a que los granos estallen, con el consiguiente aumento de la fracción fina. La bentonita es desactivada y sólo con dificultad puede volver a ser separada de los granos. Para regenerar mezclas de arenas gastadas que contienen bentonita, se utilizan procesos mecánico-térmicos.

Los aparatos de capa turbulenta son generalmente empleados para la regeneración térmica de arenas gastadas. Una corriente de gas caliente que entra por abajo, fluidiza la arena y quema los compuestos orgánicos. Los residuos de quemadura restantes en los granos de arena se eliminan por la abrasión de las partículas entre sí.

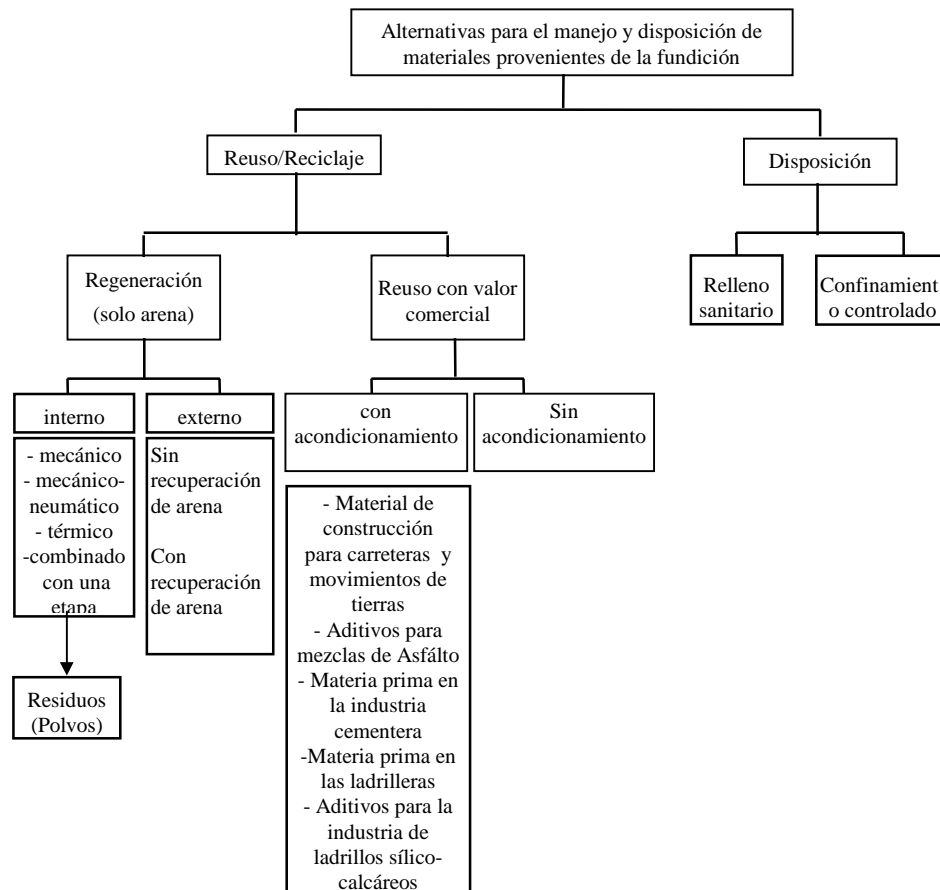
En los **hornos rotatorios** la arena se mueve y afloja a causa del movimiento giratorio del tubo equipado con piezas integradas. Mediante el calentamiento directo o indirecto se queman los compuestos orgánicos.

En general, los procesos disponibles en el mercado no son capaces de regenerar de manera satisfactoria las arenas gastadas que contengan cantidades grandes de arenas o corazones aglutinados por silicato de potasio/sodio.

El diseño conceptual y la selección de instalaciones internas de regeneración depende de la calidad deseada en el material regenerado, ya que los diferentes sistemas fabricados ofrecen distintas calidades. Dependiendo de los requerimientos específicos, la instalación de sistemas de regeneración dentro de la empresa, es rentable a partir de una generación de aproximadamente 1000 ton/año de arenas gastadas. Las fundidoras que generen un menor volumen anual de arenas gastadas, deberían operar una instalación en común o encargar la regeneración de la arena gastada a una fundidora de mayor tamaño. En estos casos debe ponerse mucha atención en que los sistemas de aglutinamiento empleados sean compatibles (ver Tabla 12).

Si el reuso de las arenas gastadas o de determinadas fracciones de arenas gastadas en las fundidoras no es posible, estas arenas deben depositarse como se indica en la fig. 2. Para que la arena gastada pueda ser recibida en un depósito de residuos (relleno sanitario o confinamiento controlado), deben observarse los requerimientos relativos al material original y el lixiviado (PECT). Los criterios de evaluación son los establecidos en las normas respectivas, p.ej., sobre el contenido de fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales pesados.

FIGURA 2. DIFERENTES POSIBILIDADES PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE ARENAS GASTADAS.



Dependiendo del contenido de contaminantes en las arenas gastadas de fundidoras, éstas pueden ser llevadas a un relleno sanitario o tienen que disponerse en un confinamiento controlado. El aprovechamiento (reuso/reciclaje) de las arenas gastadas de fundición se describe en el Capítulo VI.

Medidas Específicas para Fundidoras de Metales No Ferrosos.

Los residuos que se generan en las instalaciones de fundición, como son natas, polvos y material refractario del horno no pueden ser aprovechados (reusados/reciclados) directamente, sino que deben ser tratados en las fundidoras de chatarra. El tratamiento en la misma planta fundidora, aunque

viable técnicamente, no se justifica económicamente porque los residuos se generan a veces sólo en pequeñas cantidades.

Gran parte de los metales no ferrosos se trabajan en máquinas inyectoras a presión; es decir, el metal líquido se inyecta a presión y velocidad alta a un molde metálico permanente. Esta presión se mantiene hasta alcanzar la completa solidificación. Se distinguen los procesos de cámara fría y de cámara caliente.

Prevención (reusar/reciclar) de las Escorias en Máquinas Inyectoras a Presión.

En el método de cámara fría, la fusión del metal se realiza en hornos especiales fuera de la máquina. Antes de cada proceso de presión, se saca la cantidad de metal requerida del crisol de fusión y calentamiento y se introduce a la máquina de inyección. Cada vez que se toma de la cantidad requerida del metal líquido con una cuchara, se tiene que quitar la capa de óxido (escorias) y natas que se forma sobre la masa. El metal líquido descubierto se vuelve a cubrir inmediatamente con una nueva capa de óxido, la cual aumenta el volumen de escorias generadas en esta instalación. Para mantener aprovechables estos desperdicios que tecnológicamente no pueden evitarse, la escoria y nata generadas tienen que reunirse en condiciones limpias y no deben ser contaminadas por otras sustancias como por ejemplo lubricantes.

A diferencia del método de cámara fría, en el procedimiento de cámara caliente el metal líquido es inyectado a la forma permanente mediante máquinas fundidoras de émbolo o de aire comprimido. De esta manera no se generan escorias ni natas.

Prevención de Materiales Fuera de Especificación.

La condición previa para obtener piezas fundidas impecables, es un molde bien diseñado y fabricado con mucha precisión, de acero de calidad con un buen acabado superficial. El trayecto entre el recipiente cubierto de metal fundido y el molde, debe ser corto para que la temperatura pueda mantenerse constante. La ubicación de las entradas, así como su diámetro de admisión en la cavidad del molde son decisivos para la velocidad de desplazamiento del metal en la fase de llenado del molde. Las entradas deben ser diseñadas de tal forma que el metal líquido pueda fluir libre y tranquilamente hacia todas las áreas de la cavidad del molde. Si el metal, en vez de fluir continuamente, es inyectado en forma inadecuada al molde, se producen piezas de mala calidad. En la medida de lo posible debe evitarse que se mezcle el metal líquido con el aire a través de medidas hidrodinámicas. Antes de iniciar la fundición inyectada, los moldes deben ser calentados poco a poco hasta alcanzar su temperatura de operación, para evitar su desgaste prematuro.

Minimización de la Generación de Desmoldante Residual.

Los desmoldantes deben introducirse al molde sólo en cantidades pequeñas, para evitar así el goteo del aceite sobrante. Los aparatos de rocío deben optimizarse de tal modo que los desmoldantes se inyecten sólo en la cantidad necesaria, o el aceite sobrante que se escurra, debe ser recogido y ser manejado adecuadamente.

Reciclaje de Rebabas.

Después de ser sacadas del molde, las piezas fundidas tienen rebabas o coladas de inyección. Estas rebabas tienen que eliminarse en forma mecánica, antes de que se pueda seguir trabajando. Las rebabas que así se generan, deben recolectarse por separado según su tipo de metal. Muchas veces se contaminan con aceites solubles o emulsiones de enfriamiento o aceites lubricantes y no están aptas para una fusión inmediata o directa, ya que en el horno los hidrocarburos impregnados en las rebabas generan mucho humo. Para disminuir la cantidad de aceite adherido, pueden utilizarse centrifugas de rebabas.

Optimización del Desengrasado.

En caso de que las piezas fundidas tengan que desengrasarse después de ser desmoldadas o después de los tratamientos mecánicos, esto debe realizarse con limpiadores a base agua. Por motivos de protección del medio ambiente no deberían utilizarse hidrocarburos clorados. Sin embargo, si éstos se aplican, se requieren amplias medidas para disminuir las emisiones de hidrocarburos clorados (HCC), tales como instalaciones cerradas o instalaciones donde se capta y condensa el solvente.

Reducción del Consumo de Aceite Hidráulico.

Los sistemas de aceite hidráulico de las máquinas utilizadas en las fundidoras sufren una fuerte tensión a causa de las altas temperaturas, por lo cual el sistema debe reabastecerse constantemente para mantener los niveles de aceite requeridos, además de cuidar la calidad. Las pérdidas de aceite pueden minimizarse a través de medidas de mantenimiento adecuadas, como la renovación de las juntas que presenten fugas. El tiempo de uso del aceite hidráulico puede prolongarse mediante la filtración de flujo parcial.

Reducción de la Generación de Empaques y Embalajes.

Si los insumos se entregan empacados, el material de embalaje se recolectará por separado y se conducirá a su aprovechamiento (reuso/reciclaje). A largo plazo debe perseguirse la introducción de contenedores retornables.

V.3. Medidas Específicas de Prevención por Tipo de Material.

En las fundidoras de metales no ferrosos que trabajan con moldes de un solo uso (por ejemplo, de arena), y las fundidoras de metales ferrosos, las medidas específicas de prevención serán de acuerdo al tipo de material empleado, se concretan a una optimización del sistema de aglutinantes de las arenas de fundición. El sistema de aglutinamiento debe ser adecuado de manera que permita la aplicación de tecnologías de reciclaje para recuperar la mayor cantidad posible de arenas gastadas.

V.4. Otras Medidas.

Después de que las piezas fundidas han sido desmoldadas, se deben quitar los restos de arena que han quedado pegados. En los aparatos de granallado que se usan para este fin, se emplea granalla de acero. Las partículas férricas en el material granallado residual pueden ser recuperadas mediante separadores magnéticos. Los polvos abrasivos ferrosos que se generan al cortar los ductos de inyección y durante el esmerilado de las piezas fundidas, pueden volverse a fundir.

Si se fabrican grandes series de piezas, y de existir un diseño adecuado del molde, debe analizarse si es factible cambiar de moldeo en arena a moldeo en coquilla.

Para el caso de los residuos generados en pequeñas cantidades, como sucede principalmente en las pequeñas empresas, por ejemplo arenas gastadas que contienen ciertos aglutinantes, aceites gastados y otros contaminantes, se sugiere que las empresas generadoras se organicen para realizar una recolección conjunta de sus residuos compatibles, para su posterior regeneración.

Para asegurar el éxito de las medidas referidas, se recomienda establecer un sistema de control de calidad que asigne de forma inequívoca las responsabilidades a cada una de las personas involucradas. También debe incluir la capacitación e instrucción constante del personal. Además, a corto plazo, un colaborador de la empresa debería ser nombrado encargado de residuos, para dirigir y responsabilizarse de el manejo de los residuos. Debe tener también la autoridad suficiente como para introducir las modificaciones necesarias en los diferentes departamentos, como por ejemplo, en el de Compras y Adquisiciones, para adquirir materiales e insumos compatibles con el medio ambiente. Las tareas y funciones del encargado de residuos deben definirse a corto plazo a través de una norma respectiva. Se recomienda que los costos específicos de manejo y disposición final de residuos se repartan entre los diferentes departamentos de la empresa si el tamaño de la empresa lo permite, para responsabilizar a cada uno de ellos, de los costos derivados del manejo adecuado de los residuos que generen.

VI. APROVECHAMIENTO (REUSO/RECICLAJE).

Arenas Gastadas.

Aquellos sobrantes de arenas gastadas de fundición, que fueron separadas en los diversos procesos y que ya no puedan utilizarse como arenas de moldeo, dependiendo de su contenido de contaminantes, se pueden aprovechar para otros fines, como:

- Material para la construcción de carreteras, relleno y nivelación de superficies. Las arenas gastadas de la fundición pueden utilizarse como relleno en la construcción de carreteras, así como de canales del sistema de drenaje. Antes de emplearlas de esta forma, debe garantizarse a través de un análisis, que la arena no contenga porcentajes inadmisibles de contaminantes, como por ejemplo fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), furanos u otros.
- Aditivos para mezclas asfálticas. El empleo de arenas gastadas como aditivo en mezclas asfálticas aún se está discutiendo. Sobre todo, porque puede aumentarse sustancialmente el

contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) del material bituminoso, a través de la mezcla con arena gastada, que también contienen este tipo de hidrocarburos.

- **Materia prima en la industria cementera.**
Aquellas arenas gastadas en la fundición que constan de arena de cuarzo y que no estén aglutinadas por silicato de potasio/sodio, pueden utilizarse como proveedor de dióxido de silicio. Si se emplea arena gastada de la fundición que esté contaminada por aglutinantes orgánicos, debe garantizarse que los gases de emisión que se generen durante la calcinación, serán sometidos a un lavado para eliminar los contaminantes conforme a las normas vigentes.
- **Materia prima en la fabricación de ladrillos.**
Las arenas gastadas de la fundición que sean de grano fino, pueden emplearse para adelgazar el alto contenido de arcillas. En este caso, las arenas gastadas en la fundición deben estar libres de partes metálicas.

Polvos y Lodos.

Los polvos y los lodos provenientes del sistema recolector de gases de combustión del horno, pueden volver a fundirse dependiendo del tipo de horno, del modo de operación y de los requerimientos relativos a la calidad de la masa fundida. Se tiene que evaluar, si al reusarse los polvos, no se acumulan ciertos elementos contaminantes en la masa fundida.

Escorias y Natas

Las escorias y natas pueden molerse y el metal se recupera a través de diferentes métodos de separación -magnéticos o neumáticos-. La fracción metálica puede volver a ser fundida.

Material Refractario.

Los revestimientos de los hornos y crisoles pueden reciclarse si su material es de buena calidad. El material de revestimiento de menor valor puede ser llevado a un depósito adecuado (relleno sanitario o confinamiento controlado) en relación con su contenido de contaminantes.

Empaques y Embalajes y otros Residuos.

Si los insumos se entregan empacados, el material de embalaje se recolectará por separado y se conducirá a su aprovechamiento. Otros residuos industriales que se generen en la empresa, semejantes a los residuos municipales, deben ser almacenados por separado en depósitos o contenedores claramente señalados para papel, plásticos, madera, y otros residuos factibles de reuso/reciclaje.

Aceites Gastados.

Los aceites hidráulicos y otros aceites gastados en las operaciones de fundición sufren altas tensiones térmicas, por lo cual un reciclaje mediante un tratamiento físico/químico sólo da resultados limitados, porque no se recuperan totalmente las características de calidad originales. Se recomienda reusar los aceites gastados como combustible alterno, por ejemplo en una planta cementera.

VII. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS QUE NO SE PUEDEN EVITAR.

VII.1. Almacenamiento Interno.

Generalmente, tanto los residuos no peligrosos como los peligrosos deben almacenarse en las empresas de tal forma que no ocasionen riesgos para los trabajadores, los vecinos y al medio ambiente. El almacenamiento debe orientarse hacia estos fines a través de medidas técnicas y organizativas.

A continuación se mencionan primero los documentos normativos vigentes que rigen el almacenamiento de residuos (peligrosos) y finalmente sigue una breve lista de ejemplos de medidas técnicas y organizativas para el almacenamiento de residuos.

Regulaciones.

Los requerimientos relativos al almacenamiento de residuos se sustentan en la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente** (1988). De esta ley se desprende el **Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos** (1988).

Las normas relacionadas con los requerimientos específicos relativos al almacenamiento de residuos, se enlistan a continuación:

- para la clasificación y el almacenamiento temporal de residuos peligrosos por parte del productor (**NOM-052-ECOL/1995**),
- para el almacenamiento común de residuos no compatibles (**NOM-CRP-056-ECOL/1993**),
- especificaciones con respecto a contenedores, barriles y bidones para residuos peligrosos (**NOM-024-SCT 2/1994**),

- para garantizar en los almacenes las distancias adecuadas entre áreas de acceso y áreas de almacenamiento (**NOM-006-STPS/1993**),

Por otro lado, existen normas que reúnen requerimientos generales tanto a materiales como a residuos peligrosos:

- para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles (**NOM-005-STPS/1993**),
- para el diseño de las áreas de trabajo, en las cuales se manejan y almacenan sustancias explosivas (**NOM-008-STPS/1993**), y
- para garantizar la suficiente ventilación en áreas de trabajo, para evitar incendios y explosiones (**NOM-016-STPS/1993**).

Las disposiciones generales respecto a la seguridad e higiene en el área de trabajo se encuentran en el **Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo**. Este reglamento incluye, entre otras, las explicaciones acerca de dispositivos para extinguir incendios, instalaciones de alarma y mangueras para combatir incendios.

Ejemplos de importantes medidas técnicas y organizativas de almacenamiento.

Medidas Técnicas:

- Todos los residuos deben almacenarse por separado. Las áreas de almacenamiento deben estar claramente limitadas y los contenedores deben estar claramente señalados.
- El tipo y tamaño de las áreas y contenedores de almacenamiento deben adecuarse al tipo, la cantidad, composición y consistencia de los residuos.

TABLA 13. TIPO DE ALMACENAMIENTO RECOMENDADO.

<ul style="list-style-type: none"> • Polvos y lodos provenientes del horno 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores cerrados
<ul style="list-style-type: none"> • Escorias provenientes del horno 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores o áreas a la intemperie y techadas. Las escorias que contienen metales ligeros, al ser expuestas a la humedad pueden desarrollar hidrógeno explosivo
<ul style="list-style-type: none"> • Natas 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores o áreas a la intemperie techadas. Las natas que contienen metales ligeros, al ser expuestas a la humedad pueden desarrollar hidrógeno explosivo
<ul style="list-style-type: none"> • Polvos metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores o áreas a la intemperie techadas
<ul style="list-style-type: none"> • Polvos de abrasión / pulido 	<ul style="list-style-type: none"> • Los polvos que contienen metales ligeros, al ser expuestos a la humedad pueden desarrollar hidrógeno explosivo
<ul style="list-style-type: none"> • Arenas gastadas que contienen aglutinantes peligrosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores o áreas a la intemperie techadas
<ul style="list-style-type: none"> • Sobrantes del granallado o sand-blasteo 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores o superficie libre techada
<ul style="list-style-type: none"> • Aceites gastados 	<ul style="list-style-type: none"> • Barriles dentro de tinas recolectoras
<ul style="list-style-type: none"> • Materiales que contienen grasa o aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Barriles o tambores cerrados
<ul style="list-style-type: none"> • Arenas gastadas sin aglutinantes peligrosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Area techada o nave

Recomendaciones Técnicas para el Almacén de Residuos Peligrosos.

- * El almacén de residuos peligrosos debe equiparse con cimientos de concreto provistos de un recubrimiento impermeable y resistente contra los materiales a almacenar.
- * Las áreas de almacenamiento de residuos peligrosos deben techarse y proveerse de una protección contra las lluvias (incluyendo protecciones laterales).
- * Las zonas de almacenamiento, en las que se guardan líquidos, deben estar provistas de tanques y canales de recolección de líquidos en caso de derrames, además deben contar con materiales de absorción (p.ej. aserrín) para absorber derrames.
- * El aire emitido por las áreas de almacenamiento y trabajo cerradas debe ser captado y purificado en la medida de lo posible. A través de medidas adecuadas debe asegurarse que no se generen emisiones no permitidas.

- * Las áreas de almacenamiento destinadas a residuos combustibles, se deberán equipar con dispositivos de alarma y de prevención y control de incendios.
- * Deben estar a disposición equipos de protección personal.
- * En almacenes destinados a residuos peligrosos, se deberán instalar regaderas de emergencia y equipos de lavado de ojos.
- * No deberá permitirse el acceso al almacén a personas no autorizadas y deberá asegurarse el control del acceso.

- **Medidas de Organización.**

Es posible sin grandes esfuerzos y a bajo costo, realizar las medidas de operación, organización y comportamiento que comprenden todos los niveles del organigrama empresarial y que se describen en el manual de Control de Calidad. Estas instrucciones son necesarias porque permiten reducir los efectos de las fallas en la operación, de manera que estas no lleguen a convertirse en un evento mayor (perturbación). La presentación de las medidas podrá incluirse en las instrucciones de operación para cada área, en una forma concreta y clara, por ejemplo:

- Descripción de la ejecución de tareas de los trabajadores.
- Determinación de las medidas de seguridad al trabajar con sustancias peligrosas.
- Señalar las áreas en las que se depositan residuos peligrosos, resaltando las características de peligrosidad de los residuos almacenados temporalmente.
- Las instrucciones de operación deberán contener todas las instrucciones técnicas de operación y de seguridad para el personal.

Los empleados que trabajen con sustancias peligrosas se deberán capacitar periódicamente acerca del manejo adecuado de estas sustancias. La capacitación deberá incluir tanto manejo de substancias, materiales y residuos peligrosos, como primeros auxilios, mantenimiento de equipos de seguridad y manejo de vehículos y maquinaria (por ejemplo, de montacargas).

Para la motivación de los trabajadores es importante que también la gerencia se haga cargo de la responsabilidad descrita en el manual de control de la calidad, como ejemplo a seguir para los trabajadores.

VII.2. Señalamiento.

Con el fin de garantizar el transporte seguro de todos los residuos que pueden generar un riesgo, deberá realizarse la clasificación y el señalamiento de los mismos.

A continuación se presentan las normas mexicanas que contienen información sobre los procedimientos de clasificación y de señalamiento de los residuos, así como las disposiciones acerca de los documentos de carga y los formatos con los datos de seguridad que deberán acompañar al material transportado.

- Clasificación de los residuos (**NOM-003-SCT/1994**), siempre y cuando se trate de sustancias peligrosas, con base en clases principales, subclases, señalamiento con números UN y tipo de empaque. Las sustancias que no aparecen en las tablas (por ejemplo las mezclas) son clasificadas por el generador de los residuos. Esta autoclasificación se presenta a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para su verificación y reconocimiento (**NOM-002-SCT/1994**). En el caso de mezclas, la clasificación se basa en el componente más peligroso.
- Los empaques de sustancias peligrosas deberán ser codificados con etiquetas indestructibles (**NOM-007/1994**), y se deberán proveer adicionalmente con etiquetas de peligro (**NOM-004/1994**). Estas etiquetas deberán colocarse en el centro de las partes laterales (costados) del empaque. Además, las unidades de transporte para carretera o ferrocarriles deberán ser provistas de placas de advertencia bien legibles, que deberán contener cuando menos la siguiente información:
 - características principales de la peligrosidad de las sustancias, sus propiedades físicas y químicas, y
 - el número UN.
- Dichas etiquetas son obligatorias también para contenedores impregnados con residuos (**NOM-004-SCT2/1994**).
- Mayores detalles relacionados con las sustancias peligrosas se deberán indicar (**NOM-043-SCT2/1994**) en los documentos de transporte y los formatos con los datos de seguridad (**NOM-005-SCT/1994**) que deberán llevarse con el transporte. Deberán incluir por ejemplo:
 - la denominación oficial de la sustancia transportada según la lista que se presenta en la **NOM-002-SCT2/1994**,
 - clases y subclases de la sustancia; en las sustancias de la clase 1 deberán registrarse adicionalmente los grupos de compatibilidad, que se describen en la **NOM-009-SCT2/1994**,

- número UN y número de empaque,
 - volumen y masa de la sustancia que se transporta,
 - las unidades de transporte de residuos, deberán llevar adelante el señalamiento "RESIDUOS",
 - en el caso de sustancias que requieran de regulación de temperatura (subclase 4.1, así como peróxidos orgánicos), se deberán indicar la temperatura de control y la temperatura en casos de emergencia. Además se deberán indicar el riesgo explosivo secundario, y
 - las medidas en caso de accidente para prevenir y limitar los riesgos y daños y los números telefónicos de los especialistas en seguridad.
- Se determinarán las especificaciones de las sustancias de las clases 1 y 5.2. Esto se refiere también a la compatibilidad en el transporte común y el almacenamiento conjunto (**NOM-025-SCT2/1994**).

VII.3. Transporte.

Para el transporte de las sustancias no peligrosas no existen requerimientos especiales, mientras que para el transporte de las sustancias peligrosas se deberán tomar en cuenta una serie de normas relacionadas con los riesgos potenciales que generan los residuos.

Además de las especificaciones referidas sobre el señalamiento para el material a transportar, existen regulaciones específicas para el transporte de sustancias y residuos peligrosos. Los detalles deberán consultarse en los textos originales de las normas respectivas, por lo que no se comentan en este punto. La atención principal está en las regulaciones relevantes para la seguridad.

Se reglamentan básicamente los siguientes puntos:

- Los vehículos de carga se deberán verificar diariamente conforme a determinados criterios. Esto deberá documentarse con una lista de verificación (**NOM-006-SCT2/1994**).
- Las regulaciones normativas para carga y descarga seguras de los contenedores y su fijación durante el transporte por ferrocarril. Los conductores de los vehículos de carga deberán capacitarse periódicamente, por lo menos en lo que se refiere a carga y descarga de carros tanque (**NOM-018-SCT/1994**).
- Existen además otras regulaciones normativas, por ejemplo, acerca de los requerimientos y la verificación de contenedores tanque (**NOM-020-SCT2/1995**), pero que aquí no se detallan.

VII.4 Alternativas de Manejo de Residuos.

Después de describir el almacenamiento, el señalamiento y el transporte de los residuos inevitables, se indican a continuación las que se consideran las mejores alternativas de manejo para cada uno de los diferentes tipos de residuos. En la Tabla 13 se presentan los residuos encontrados y denominados por las empresas visitadas para mostrar una posibilidad de manejo, independientemente de los resultados que arroje el análisis.

En este contexto se describen por un lado las alternativas de manejo disponibles actualmente en México (recirculación, reciclaje de residuos, por ejemplo reuso o fundición de residuos metálicos, recirculación como combustible alterno en hornos rotatorios de la industria cementera, rellenos sanitarios y confinamientos controlados). Por otro lado, se presenta una comparación siguiendo las alternativas de manejo técnicamente muy complejas, como las que se describen por ejemplo en la TA Abfall (Reglamento Ambiental de Alemania). Debe considerarse que es posible que en un futuro cercano se incrementen los requerimientos del Reglamento Alemán en cuanto al reuso/reciclaje de residuos.

En general deben respetarse los valores límite para las alternativas de manejo, por ejemplo el reciclaje o disposición final. En la tabla 13 se representan los diferentes tipos de residuos típicos generados en la industria de fundición con respecto a diferentes alternativas de manejo y disposición que se priorizan de izquierda a derecha, según la filosofía del manejo de residuos. Si se presentan diferentes alternativas de manejo y disposición se respeta el orden de prioridades, como se describe en la tabla.

SIGNIFICADOS DE LAS CLAVES EN LA TABLA 13

K	=	Recirculación
S	=	Reciclaje de sustancias
T	=	Reuso como combustible alterno en hornos rotatorios (cemento)
HMD	=	Relleno sanitario
SAD	=	Confinamiento controlado
SAV	=	Incineración de residuos peligrosos
HMV	=	Incineración de residuos municipales
CPB	=	Planta de tratamiento físico-químico
-	=	no hay indicación
AS	=	Clave de residuos según la legislación alemana

TABLA 14. ALTERNATIVAS DE MANEJO Y DISPOSICIÓN PARA LOS RESIDUOS TÍPICOS DE LA FUNDICIÓN.

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Arenas			
Arena de corazón	¹ K / ² S / HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Arena de desmoldeo	¹ K / ² S / HMD	31 425	-
Arena de fundición	¹ K / ² S / HMD	31 401	-
Arena de fundición mezclada con bentonita	¹ K / ² S / HMD	31 401	-
Arena de moldeo	¹ K / ² S / HMD	31 425	-
Arena quemada	¹ K / ² S / HMD	31 401	-
Arena sílica quemada	¹ K / ² S / HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Arena sílica mezclada con bentonita	¹ K / ² S / HMD	31 401	-
Arena sílica recubierta con resinas fenolicas	¹ K / ² S / HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Arena sílica gastada o quemada	¹ K / ² S / HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Arenas de fundición	¹ K / ² S / HMD	31 401	-

¹ Recirculación con eliminación de polvos y otros contaminantes.

² p.e. Aditivos en la construcción de carreteras o en la producción de ladrillo.

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Polvos			
Polvo de metal	¹ K / ² S / HMD / SAD	35 315	SAD / HMD
Polvo de zinc	¹ K / S / SAD	35 309	SAD
Polvos	S / HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Polvos de hierro mezclados con esmeril	S / HMD	35 101	-
Polvos de hierro gris del esmerilado	S / HMD / SAD	31 440	SAD / HMD
Polvos de óxido de silicio, magnesio	HMD / SAD	31 426	SAD / HMD
Polvos de pulido de metales	HMD / SAD	31 440	SAD / HMD
Polvos de "sand blasting"	HMD / SAD	31 440	SAD / HMD
Polvos y lodos del lavador del gases	HMD / SAD	31 439	SAD / HMD
Polvos de hornos eléctricos	S / SAD	31 217	SAD
Tierras de recuperación	S / SAD	31 217	SAD
Polvos y pelusa	SAD	31 217	SAD
Escorias			
Escoria mezclada de diversos metales	SAD	31 203	SAD

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Escoria de acero generadas en el horno eléctrico	² S / HMD	31 218	-
Escoria de aluminio	² S / HMD	35 304	-
Escoria de bronce	SAD	31 203	SAD
Escoria de latón	² S / SAD	31 203	SAD
Escoria de plomo	² S / SAD	31 203	SAD
Escorias de cobre	² S / SAD	31 203	SAD
Escorias de estaño	² S / SAD	31 203	SAD
Escorias de hierro	² S / HMD	31 202	--
Escorias de zamak	² S / SAD	31 203	SAD
Escorias provenientes del horno	² S / SAD	31 203	SAD
Residuos del maquinado			
Poleas de tela	HMD	91 101	-
Residuos de operaciones de esmerilado (Polvos de metal)	HMD / SAD	31 440	SAD / HMD
Residuos de tela	HMD	91 101	-
Residuos de esmerilado	HMD / SAD	31 440	SAD / HMD

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Residuos de lavado con solventes	T	55 213	SAV
Residuos de metal			
Recortes y rebaba de aluminio y bronce	² S	35 304	-
Chatarra	² S	35 103	-
Rebaba de Zamac	² S	35 315	SAD / HMD
Rebaba de aluminio	² S	35 304	-
Rebaba de ductos de inyección	² S	35 315	SAD / HMD
Rebaba de hierro	² S	35 103	-
Rebaba de hierro	² S	35 103	-
Rebaba de latón	² S	35 315	SAD / HMD
Rebaba de Zamac y aluminio	² S	35 304	-
Rebaba de soldadura	² S	35 103	-
Rebaba y recorte de zamac	² S	35 315	SAD / HMD
Residuos de acero	² S	35 103	-
Residuos de bronce del esmerilado	² S	35 315	SAD / HMD
Salpicaduras de Aluminio	² S	35 304	-

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Salpicaduras de Zamac	² S	35 315	SAD / HMD
Costra de zinc	² S	35 309	SAD
Nata de la fundición de aluminio y zamac	² S	35 304	-
Lodos			
Lodos de las vibradoras	HMD / SAD	31 626	SAD
Lodos de tratamiento de aguas residuales	SAD	31 616 31 626	- SAD
Sedimentos del lavador de gases	SAD	31 639	SAD / CPB
Materiales de producción gastados			
Crisoles de Carburo de silicio	S	31 102	-
Material refractario	S	31 103	-
Fibras cerámicas	HMD	31 416	-
Ladrillo, pedacera y arena de crisoles	S	31 103	-

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Aceites/Materiales de trabajo impregnados de aceite			
Aceite de corte	T	54 109	SAV / CPB
Aceite gastado	T	54 113	SAV / CPB
Aceite hidráulico	T	54 106	SAV
Aceite lubricante	T	54 109	SAV / CPB
Aceites residuales	T	54 113	SAV / CPB
Aceite soluble	T	54 402	SAV / CPB
Aserrín y trapos impregnados con aceite	T	54 209	SAV / H MV
Desmoldante	SAD	31 640	SAV / SAD / CPB
Estopa impregnada con aceite	T	54 209	SAV / H MV
Guantes viejos de lona con aceite	T	54 209	SAV / H MV
Trapos impregnados de aceite	T	54 209	SAV / H MV
Residuos industriales no peligrosos (municipales)			
Basura municipal	HMD	91 101	-
Residuos municipales	HMD	91 101	-

Tipo del Residuo	Alternativa de manejo y disposición existentes en México	AS	Alternativas de manejo y disposición según TA Abfall
Material de empaque y embalaje			
Cartón	K / S	91 201	-
Material de empaque	K / S	91 201	-
Recipientes vacíos de materia prima	K / SAD	35 106	SAV / SAD
Sacos de materia prima	K / S	91 201	-
Otros			
Compuesto de parafina	S / T	54 207	-
Piedra caliza	HMD	31 106	-
Yeso para moldeo	HMD	31 438	-

VIII. CONTACTOS PARA MAYOR INFORMACIÓN.

Comisión Ambiental Metropolitana.

Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Proyectos Ambientales
Subdirección de Residuos Peligrosos
Plaza de la Constitución No. 1, 3er Piso
Col. Centro
06000 México D.F.
Tel.: 521 81 60 y 542 24 83

CONCAMIN

Confederación de Cámaras Industriales
Gerencia de Ecología
Manuel María Contreras No.133, 2gdo Piso
Col. Cuauhtémoc
06500 México D.F.
Tel.: 566 75 27, 566 78 22

CANACINTRA

Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
Gerencia de Ecología
Av. San Antonio No. 256
Col. Nápoles
03849 México D.F.
Tel.: 563 30 82, 615 01 11 ext. 206

Sociedad Mexicana de la Industria de la Fundición

Ubicada en el edificio de CANACINTRA
Tel.: 611 96 78, 563 84 96

Centro Mexicano para la Producción más Limpia

Av. Politécnico Nacional s/n Edif. 9 de Labor. Pesados

Unidad Profesional López Mateos

Zacatenco

07738 México D.F.

Tel.: 729 62 02

CENICA

Centro Nacional de Investigación de Control Ambiental

Av. de las Torres 855

Col. Belén de las Flores

01110 México, D.F.

Tel.: 272 00 50

GTZ / TÜV ARGE MEX

Secretaría del Medio Ambiente - DDF

Plaza de la Constitución No.1, 3er Piso

Col. Centro

06000 México D.F.

Tel.: 521 08 68

IX. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL.

Bahrs P., Toussaint D., Winterhalter J., Mauersberger G., Gießereialtsande aus Nicht-eisenmetallgießereien, SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH, 70736 Fellbach, 1992

Bahrs P., Toussaint D., Winterhalter J., Mauersberger G., Gießereisande aus Eisen-, Stahl- und Tempergießereien, SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH, 70736 Fellbach, 1992

Binninger W., Reststoffe aus Induktionsschmelzanlagen für Gußeisen, SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH, 70736 Fellbach, 1994

Binninger W., Reststoffe aus Kupolofen-Schmelzanlagen, SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH, 70736 Fellbach, 1994

Binninger W., Reststoffe aus Schmelzanlagen für Nichteisenmetalle, SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH, 70736 Fellbach, 1994

Bray K., Classification of electric arc furnace dust, Steel Times International, Nov. 1992, S. 33

Döpp R., Vermindern und Verwerten von Gießereireststoffen, Gießerei Rundschau, 39(1992)14-22

Kos B., Reduction of metal losses and waste management in aluminium production and smelting, Casting Plant+Technology International, 3(1995)26-28

Moeller K., Suchy P, Innerbetriebliches Recycling von Lichtbogenofenstäuben, Gießerei 82(1995)Nr.12, 417-420

Pasternak M., Fachkunde Gießereitechnik, ISBN 3-342-00364-2, 1989

Roller R., Grund- und Fachkenntnisse Gießereitechnischer Berufe, ISBN 3-582-03942-0, 1990

Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol A12, VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 1989

Zeitschrift Gießereipraxis, Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Markgrafenstraße 11, 10924 Berlin