



**GESTIÓN DE ARENAS DESCARTADAS DE LA FUNDICIÓN DE HIERRO  
GRIS Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA  
LOCALIDAD DE ISIDRO CASANOVA, PARTIDO DE LA MATANZA,  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

TESIS PRESENTADA  
PARA EL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE  
LOS REQUERIMIENTOS PARA EL TÍTULO EN MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Nombre y Apellido del Tesista: Oscar Ivan Bautista Diaz

*Especialista en evaluación del impacto ambiental de proyectos*

Nombre y Apellido del Tutor de tesis: Roberto Esteban Miguel

*Doctor en Ciencias Exactas en el Área Química. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)*

Director de Carrera: Ing Julio Torti

Lugar Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
17/11/2015



## **Agradecimientos**

*En primer lugar quiero agradecer a mi tutor y amigo el Dr Roberto Esteban Miguel por su esfuerzo, dedicación, motivación y orientación para llevar a cabo este trabajo de grado. Quien a través de su asesoramiento me ha brindado las herramientas necesarias para ampliar mi conocimiento en diferentes aspectos y hoy poder cumplir una meta más en mi vida. Estaré eternamente agradecido a mi tutor por su amistad y paciencia durante este proceso.*

*Agradezco a la familia Industrias Águila Blanca S.A., en especial a la Lic Graciela Carreño por su apoyo y amistad que ha sido imprescindible para llevar a cabo este proceso. Por lo cual siempre espero estarla apoyando en el crecimiento de su empresa y brindarle una amistad incondicional.*

*A mi familia en especial a mis padres y hermanos quienes me han apoyado toda mi vida brindándome la mejor educación, apoyo y amor que me han permitido traer tantos éxitos y alegrías a mi vida. A ellos debo y entrego este logro que nos llena de felicidad.*

*A mi novia y amiga Jessica Paola Pineda quien a través de estos tres años ha llenado mi vida de felicidad. Gracias amor por tu apoyo, paciencia y comprensión en todo momento.*

*A mis amigos del alma Andrés Reyes, Federico Restrepo, Luis Herrera, Juliana Sicard, María Luisa Macías y Edgar Andrés Páez quienes me han brindado su apoyo y acompañamiento durante las diferentes etapas de mi vida y a quienes debo los mejores momentos de alegrías y tertulias.*

*A mis compañeros de clase y docentes del ITBA con quienes compartimos dos años aprendiendo de experiencias y compartimos momentos agradables.*

## **Resumen**

En la industria de fundición, la mayor preocupación en materia ambiental es la disposición de las arenas descartadas de fundición (ADFs), debido a que en la mayoría de los casos son dispuestas como material de relleno sin conocerse las implicancias ambientales de esta acción. En menor medida, algunas empresas disponen las ADFs a través de rellenos sanitarios y de seguridad con importantes costos debido a los volúmenes generados. Es posible analizar que esta situación se encuentra muy lejos de convertirse en un sistema de gestión sustentable económica, natural y socialmente. Los efectos de la falta de conocimiento sobre las características de los ADFs generan no solamente la inadecuada gestión en su disposición final sino además, la necesidad de consumir más recursos naturales para mantener el modelo productivo de las industrias bajo la necesidad de satisfacer las demandas de la sociedad. De esta manera, el presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar la gestión de arenas descartadas de una fundición de hierro gris y proponer su adecuada disposición final al correr el programa IWEM 2.0. Para ello, se realizó un relevamiento detallado del proceso productivo a nivel de generación ADFs en la empresa Industrias Águila Blanca S.A., ubicada en Isidro Casanova, Provincia de Buenos Aires, obteniendo información relevante para identificar las principales corrientes de residuos dentro del proceso productivo de la empresa y de esta manera realizar la caracterización de la composición química por lixiviación para compuestos metálicos, metaloides, hidrocarburos totales y compuestos fenólicos, verificando de esta manera su relación con respecto a los parámetros de Ley. Adicionalmente, se evaluó la modalidad adecuada de disposición final de arenas descartadas de fundición al aplicar el programa IWEM 2.0 y se realizaron recomendaciones para la adecuada gestión de arenas descartadas de fundición dentro y fuera del proceso productivo. La industria objeto de estudio genera unas 40 toneladas por mes de ADFs, compuestas por una miscelánea de arenas verdes y fracciones menores de arenas de noyó. De las cuatro muestras tomadas, ninguna posee concentraciones de (Plata, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc) e hidrocarburos policíclicos aromáticos totales por encima de los límites de regulación de la Ley 24.051. Sin embargo, las concentraciones de compuestos fenólicos sobrepasaban los niveles de regulación (0,01 mg/l) caracterizándose a los residuos como peligrosos. Las concentraciones de compuestos fenólicos totales fueron simuladas en el

programa IWEM 2.0 con el fin de determinar la correcta disposición para evitar afecciones en el agua subterránea del acuífero freático. Como resultado de este análisis, se evidencia que las muestras tomadas de arena verde y ADFs finales se pueden disponer en rellenos sanitarios, mientras que las arenas revestidas y residuos de noyos, por su alta concentración de compuestos fenólicos, deben disponerse en rellenos de seguridad. A fin de evitar la generación de residuos peligrosos, se modificó el proceso de generación de ADFs encontrado como resultado una reducción de la concentración de compuestos fenólicos a parámetros permitidos por la Ley, transformando así a las ADF en no peligrosas. Finalmente se propone un modelo de gestión participativo entre la empresa y las autoridades ambientales con el fin de brindar una mayor información para facilitar la toma de decisiones en cuanto a la posibilidad de analizar la reincorporación de las ADFs al modelo productivo en diversas industrias reduciendo de esta manera la presión sobre este recurso natural y previniendo la contaminación del medio físico natural y la salud de la población.

## **Abstract**

In the foundry industry, the mayor concern in the environmental subject is the disposal of dump sands coming from foundry (ADFs), due to the fact that in most of the cases this material is dispose in land fillings without knowledge of the environmental consequences of this action. Some companies do the disposal of ADFs through landfilling or security landfilling with important cost because of the volumes that are generated. It's possible to analyze that this situation is very far from becoming a sustainable management system that it's economically, naturally and socially viable.

The effects of lack of knowledge of the characteristics of the ADFs generate not only the incorrect management in its final disposal, but also the need to consume more of the natural resources to keep up the production model of the industry to satisfy the demand.

The general objective of this work was to evaluate the management of the sands dumping that come from gray cast iron production and propose the adequate final disposal using the IWEM 2.0 program. For this, a detail survey of the productive process that generates ADFs was made. This survey took place in the company Industrias Águila Blanca S.A., located in Isidro Casanova, Provincia de Buenos Aires, gathering information that's relevant to identify the principles flows of residues inside the process and with this do a characterization of the chemical composition by lixiviation for the metallic, metalloids, total hydrocarbons, and phenolic compounds to verify if this parameters are according to the law. Also, it was evaluated the correct way to dispose dumping sand using the IWEN 2.0 software and recommendations for the correct way of management were made. The industry generates around of 40 tons per month of ADFs which composition is green sands and fractions of noyo sand.

Four samples were taken and none have concentrations of (Silver, barium, cadmium, copper, chromium, mercury, nickel, lead and zinc) and total polycyclic aromatic hydrocarbons above the limits stablish by the Law 24.051. However, the concentrations of the phenolic compounds were above regulations (0,01 mg/l) classified as dangerous residues. The concentrations of the phenolic compounds were simulated in the IWEM 2.0 software to determine the correct disposal to avoid impacts in the ground water of water table.

As a result of this analysis, the samples taken of green sand and final ADFs can be disposed in landfills, meanwhile coated sand and noyos residues have to be disposed in security landfills because of their high concentration of phenolic compounds.

To avoid the generation of dangerous residues, the process to generate ADFs was modified, and the result was a reduction in the concentration of phenolic compounds, and this new concentration does not go above the permitted limits by the Law, making these residues not dangerous.

Finally, a model for participative management between the company and the environmental authorities is proposed. This with the objective of facilitating information to make decisions on the possibility of reincorporating ADFs to the productive model in various industries to reduce the pressure on the natural resources and preventing the pollution of the physical environment and the health of the population.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1-3
<b>2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA</b> .....	3-11
<b>3. MARCO NORMATIVO</b> .....	12-18
3.1. Nacional.....	12-16
3.2. Provincial .....	16-17
3.3. Municipal.....	17-18
<b>4. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	19-22
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	23-23
5.1. Objetivos Generales .....	23
5.2. Objetivos Específicos .....	23
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	24-29
6.1. Caracterización del proceso industrial y cuantificación de residuos.....	24
6.2. Determinación de concentración de contaminantes en ADFs.....	24
6.2.1. Muestreo de ADFs .....	25
6.2.2. Análisis de lixiviación en ADFs y determinación de analitos .....	26
6.2.3. Programa IWEM, modelo de evaluación de gestión de residuos industriales .....	27-29
<b>7. RESULTADOS</b> .....	30-61
7.1. Descripción del modelo de gestión y productivo de la empresa .....	30-31
7.1.1. Materias primas e insumos empleados .....	32
7.1.2. Descripción del proceso productivo.....	32-33
7.1.2.1. Fabricación de noyos.....	33-36
7.1.2.2. Fabricación de moldes con arena verde .....	37-41
7.1.2.3. Fusión, Colado y Desmolde .....	42-44
7.1.2.4. Terminación .....	45-47
7.1.2.5. Recuperación de arena .....	47-50
7.2. Características hidrogeológicas, climática y fisicoquímicas del área de vuelco de ADFs.....	50-51
7.2.1. Hidrogeología .....	51-53
7.2.2. Topografía y suelo .....	53

7.2.3. Clima.....	54
7.3. Análisis de contaminantes extraídos por lixiviación a las ADFs .....	54-55
7.3.1. Contaminantes metálicos y metaloides .....	55-56
7.3.2. Compuestos fenólicos .....	56-58
7.3.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos .....	58-59
7.4. Modelo de evaluación de gestión de residuos industriales mediante el programa IWEM.....	59-62
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>63-75</b>
8.1. Lineamientos para la gestión integral de arenas descartadas de fundición .....	63
8.2. Alternativas de valorización de arenas descartadas de fundición .....	63-66
8.3. Modificación del proceso de descarte de ADFs en IAB .....	66-69
8.4. Modelo de gestión propuesto para IAB.....	70-72
8.5. Límites que limitan la gestión .....	73-75
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>76-79</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>80-87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>
ANEXO A. Resultado de análisis de lixiviación para las muestras M1, M2, M3, M4 y M5	
ANEXO B Evaluación de resultados obtenidos a través del programa IWEM para la M5 a 500 m de distancia	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación de ADFs en Argentina del 2004 al 2014.....	19
Tabla 2. Parámetros analizados y métodos analíticos empleados. ....	27
Tabla 3. Tecnologías de fundición. ....	30
Tabla 4. Relación entre Kg de ADFs y Kg de piezas producidas .....	31
Tabla 5. Insumos empleados en la fundición gr y nodular. ....	32
Tabla 6. Características Fisicoquímicas de la napa a través del pozo 026F de ACUMAR .....	52
Tabla 7. Perfil edafológica de la localidad de Isidro Casanova tomado de ACUMAR.	53
Tabla 8. Caracterización de la composición química de las ADFs a través de análisis de contaminantes por lixiviación. Ley de Residuos Peligrosos (LRP) .....	55
Tabla 9. Variables hidrogeológicas y químicas del área hipotética establecida para la disposición final de ADFs .....	59
Tabla 10. Concentraciones obtenidas a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para las cuatro muestras analizadas a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia ..	61
Tabla 11. Concentraciones de Fenol a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para un residuo con una concentración de 0,1 mg/l en lixiviado a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia para las condiciones hidrogeológicas de Isidro Casanova ...	62
Tabla 12. Tecnologías para la recuperación y tratamiento de las ADFs .....	65
Tabla 13. Concentraciones de Fenol obtenidas a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para las ADFs con una concentración de 0,05 mg/l en lixiviado a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia .....	69
Tabla 14. Límites de regulaciones comparativas para elementos y compuestos analizados en las muestras de ADFs.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1A. Metodología de cuarteo empleada para la toma de muestras de arenas .....	25
Figura 1 B. Envases de polipropileno con muestras.....	25
Figura 2. Tipos de arenas muestreadas. ....	26
Figura 3. Perfil transversal del modelo conceptual generado por IWEM .....	28
Figura 4. Proceso productivo general de Industrias Águila Blanca. ....	33
Figura 5A. Puente entre granos de arenas silíceas con resina fenólica uretánica .....	34
Figura 5B. Puente entre granos de arena silíceas con aglomerante natural .....	34
Figura 6. Proceso de fabricación de noyos.....	35
Figura 7. Proceso de elaboración de moldes de fundición.....	37
Figura 8. Proceso de carga de arena de contacto al equipo de moldeo automático.....	38
Figura 9. Proceso de fusión, colado y desmolde .....	42
Figura 10A. Hornos eléctricos empleados para fundir el metal (Hierro).....	43
Figura 10B. Crisol empleado para mantener la temperatura del material fundido. ....	43
Figura 11A. Incorporación de hierro fundido en los moldes.....	44
Figura 11B. Hierro gris colado en proceso de enfriamiento.....	44
Figura 12. Proceso de desmolde de piezas .....	44
Figura 13. Proceso de terminación de piezas .....	45
Figura 14 A. Granallado de piezas. ....	46
Figura 14 B. Rebabado de piezas .....	46
Figura 14 C. Recocido para fundición maleable .....	46

Figura 14 D. Pintura de tubos y/o accesorios .....	46
Figura 14 E. Mecanizado de piezas .....	47
Figura 15. Proceso de recuperación de arena verde .....	47
Figura 16. Arena descartada de fundición .....	48
Figura 17. Tamizado de arena .....	49
Figura 18. Proceso de mezclado de arena.....	49
Figura 19. Proceso de desterronado y transporte de arena por bandas.....	50
Figura 20. Limites jurisdiccionales de la Localidad de Isidro Casanova en donde se disponen las ADFs con los pozos de muestreo del ACUMAR y la ubicación de la empresa IAB .....	51
Figura 21. Proceso de descarte de ADFs En IAB .....	68
Figura 22. Modelo para la gestión de ADFs propuesto para IAB, a partir del establecido por la USEPA. ....	72

## ABREVIATURAS

ACUMAR	Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo
ADF	Arena descartada de fundición
ADFs	Arenas descartadas de fundición
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
CAA	Código Alimentario Argentino
CABA	Ciudad Autónoma de Buenos Aires
CRIT	Pruebas de corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad
COFEMA	Consejo Federal de Medio Ambiente
COP's	Contaminantes Orgánicos Persistentes
EPA	Environmental Protection Agency
IAB	Industrias Águila Blanca S.A.
ICA	Indicadores de Condición Ambiental
IWEM	Industrial waste environmental management (Software)
MERCOSUR	El Mercado Común del Sur
OMS	Organización Mundial para la Salud
OPDS	Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible

RSU	Residuo sólidos urbanos
SHL	Arena descartada de fundición de origen shell moulding
AFS	American Foundry Society
USA	United States of America
USDA	United States Department of Agriculture
USEPA	United States Environmental Protection Agency

# **GESTIÓN DE ARENAS DESCARTADAS DE LA FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA LOCALIDAD DE ISIDRO CASANOVA, PARTIDO DE LA MATANZA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el debate sobre la protección del ambiente ha trascendido en la escena político-económica contemporánea, generando que temas como la disponibilidad de recursos para las futuras generaciones y los efectos que trae consigo el cambio climático sean los títulos principales en convenios transfronterizos, nacionales y de organismos sin ánimo de lucro (Geng *et al.*,2006).

Uno de los mayores retos de la República Argentina ha sido la protección ambiental, siendo especialmente importante el conocimiento del tipo y cantidad de residuo generado para su reducción y correcta eliminación. El gobierno nacional y los gobiernos provinciales, no solo han establecido normativas ambientales cada vez más estrictas que direccionan cada una de las actividades industriales, sino también entes de control que desarrollen acciones preventivas hacia la protección del ambiente (Silva *et al.*, 2008).

La industria de fundición es considerada una de las actividades industriales más antiguas de la civilización humana. No obstante, esta industria al igual que otro tipo de actividad industrial consume energía y recursos, generando por consecuencia efluentes, emisiones gaseosas y residuos sólidos. Estos últimos, podrían considerarse como el impacto más relevante en términos generales debido a su gran volumen de generación y la gestión final dada.

Las arenas residuales empleadas en el proceso de moldeo y noyería conforman el principal residuo generado por las industrias de fundición. Estos residuos a pesar que en

su mayoría se regeneran y reciclan dentro del proceso productivo, finalmente se descartan por razones técnicas puesto pueden llegar a incidir en la calidad del producto y desarrollo del proceso productivo, convirtiéndose de esta manera en *Arenas descartadas de fundición* (ADFs) (Miguel, 2014). Estos residuos han sido históricamente dispuestos como material de relleno o enviados, en menor medida por su alto costo, a sitios de disposición final controlados (Miguel, 2004).

Las arenas se consideran como un recurso prioritario en la industria de la fundición ya que son empleadas para la elaboración de moldes que copian la figura de un modelo o pieza a replicar en el metal que se requiera (Miguel *et al.*, 2009). Así mismo, el emplear arenas conlleva al agregado de aglomerantes las cuales corresponden entre 1 y 2% del volumen total del residuo (Aguirre, 2008), que bajo el marco legal nacional y provincial son considerados peligrosos o especiales, lo cual entra en un marco de discusión debido a que investigadores como Deng, Dungan, Miguel, Marcozzi, Elizalde, Sota y Carnin entre otros, no solo han demostrado que en la mayoría de los casos estos residuos no transfieren características peligrosas sino que además tienen un potencial de uso muy alto como materia prima para otros procesos.

No obstante, disponer todo tipo ADFs bajo condiciones inadecuadas en sitios de relleno sin un control aparente, no se considera una práctica adecuada, puesto que investigaciones realizadas por Marcozzi *et al.* (2010), han evidenciado que algunos de estos residuos, debido a la composición o proceso interno podrían llegar a tener concentraciones de contaminantes superiores a las establecidas en la normativa ambiental, lo cual podría llegar a repercutir en las condiciones ambientales y salud pública de las poblaciones cercanas que emplean tanto el agua superficial como subterránea como principales fuentes de suministro (Aguirre, 2008).

El presente trabajo evalúa de la factibilidad técnica de gestión de los ADFs hacia la búsqueda de información que permita determinar la correcta disposición final de este tipo de residuos mediante el análisis del proceso productivo, la composición química de las ADFs y su óptima disposición final al aplicar el Programa IWEM 2.0 desarrollado por la USEPA.

Para este proyecto de postgrado se contó con la participación activa de INDUSTRIAS AGUILA BLANCA S.A., una empresa con más de 60 años de experiencia en la fundición de hierro, ubicada en Isidro Casanova en la provincia de Buenos Aires, cuya principal línea de producción está basada en la fabricación de accesorios para cañerías y morsetería.

## **2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA**

Tradicionalmente tanto en países en vía de desarrollo como en países desarrollados se ha utilizado a las arenas descartadas de fundición (ADFs) como material de relleno. No obstante, desde los años 70 la sensibilización ambiental ha tenido un crecimiento a nivel global a partir de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano celebrado en Estocolmo en 1972 en la llamada “Cumbre de la Tierra”, a partir de esta se toma la iniciativa de los países desarrollados y en vía de desarrollo por atender la necesidad de un criterio y principios comunes que ofrezcan a los pueblos del mundo una guía para preservar y mejorar el ambiente, de esta manera con la participación de 113 países, se atienden los principales problemas del desarrollo económico de los países en vía de desarrollo en busca de preservar los recursos naturales con especial énfasis en el impacto generado por los vertederos sobre el recurso hídrico subterráneo (Naciones Unidas, 1972).

Es de resaltar que, el avance de políticas ambientales de los países de Sudamérica surge después de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo realizada en 1987, en donde el tema principal se enmarco en el desarrollo sostenible. Así, los países comenzaron a crear instituciones como ministerios, secretarías de ambiente y consecuentemente las políticas en busca de generar un aprovechamiento controlado de los recursos naturales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades pero permitiendo el desarrollo económico y social de cada país (Naciones Unidas, 1972).

En 1996 la Comisión Ambiental Metropolitana de México en colaboración con la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, emiten al público seis manuales de

minimización, tratamiento y disposición para la Industria, enfocado específicamente en el rubro de la Fundición, cuyo objetivo fue reducir los costos derivados del tratamiento y/o disposición de los residuos, en favor de un proceso productivo más limpio y el consecuente mejoramiento de la imagen pública de las empresas (CAMCM y SACT, 1996).

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.

Así mismo, 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.

De esta manera, este manual represento para el Gobierno de la Ciudad de México el primer escalón para avanzar en dirección de industrias de fundición cada vez más limpias con el ambiente, y al mismo tiempo, representa el compromiso del Gobierno de la Ciudad por participar activamente en la resolución de los problemas que enfrenta la industria en el recorrido del camino común hacia un desarrollo sustentable (CAMCM y SACT, 1996).

Por su parte, Ormazábal integrante de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco en el 2001, mediante la búsqueda de conservar los recursos ambientales y reducir la generación de residuos elabora el “Libro Blanco de minimización de residuos y emisiones” enfocado a las arenas de moldeo en fundiciones férreas. Esta iniciativa nace tras la preocupación del Gobierno Vasco por la disposición descontrolada de los residuos generados por las industrias de la fundición de esta territorio, que hasta entonces generaban aproximadamente 200.000 toneladas de residuos anuales y los cuales eran arrojados a vertederos a cielo abierto sin control

alguno. El fin del libro, fue recoger las técnicas y tecnologías de minimización así como verificar las mismas a través de cinco experiencias piloto en fundiciones, con el fin que otras empresas de este rubro pudiese incorporarlas y demostrar ante el Gobierno Vasco los avances en minimización de sus residuos (Ormazábal, 2001).

Posteriormente, Peixoto (2003), realizó un análisis sobre la afectación de la industria de la fundición por el impacto de las nuevas regulaciones ambientales, demostrando que los altos costos derivado de las exigencias de las nuevas leyes ambientales generaron la disminución del número de fundidoras en Brasil, obligando a los industriales a realizar investigaciones e inversiones para reducir el consumo de materias primas y sobre todo la eliminación de productos peligrosos por el alto costo de operación en la disposición de los mismos para mantener la rentabilidad de la producción .

De igual manera, Scheunemann (2005), describe que el principal factor limitante en pequeñas y medianas empresas de la industria de la fundición es generado por la fuerte inversión de capital en los cambios estratégicos de su proceso productivo para que se produzcan cambios que llevan a la mejora de la eficiencia ambiental en el sector. Así mismo, los grandes costos de disposición final debido a la gran cantidad de arenas de descarte son un agravante que reduce las posibilidades del industrial en encaminarse en las buenas prácticas ambientales.

Los primeros estudios sobre las afectaciones ambientales las arenas de fundición en Argentina, fueron abordados por Miguel *et al.*, (2005), quienes realizaron el seguimiento de la producción, consumo de arena y aglomerantes, porcentajes de arena recuperada y desechada. Con el fin de generar índices de intensidad de uso de recursos, tomando como modelo experimental una empresa de fundición de aluminio en el partido de Tandil Provincia de Buenos Aires. Así mismo, establecieron diferentes pautas para una mejor gestión en términos productivos y ambientales, demostrando que es factible una mayor recuperación de arenas dentro del circuito productivo, lo cual beneficia en términos económicos a las empresas y reduce el posible impacto de su inadecuada disposición (Miguel *et al.*, 2005).

En 2006, Dungan publicó su investigación sobre la caracterización química de las arenas de fundición (ADFs), determinando HAPs y 17 fenoles prioritarios para la EPA en 43 muestras de ADFs obtenidas de diferentes fundiciones en USA. Encontrando que en la mayoría de las ADFs las concentraciones de HAPs y fenoles se encontraban por debajo de los límites de regulación ambiental.

Teniendo como marco de referencia los adelantos en la investigación sobre la gestión de las arenas de fundición en el 2007, Sota *et al.*, buscaron demostrar la factibilidad de elaborar hormigones de cemento portland mediante el uso de ADF mediante pruebas físicas y de lixiviación obteniendo resultados satisfactorios en el encapsulamiento de contaminantes.

De la misma manera, en 2009, Dungan y Dees, reportaron que las concentraciones totales de metales en matriz y en lixiviados bajo los métodos ASTM y SPLP para 43 muestras de ADFs, se encontraban por debajo de los niveles determinados suelos agrícolas a excepción de algunas pocas muestras, con concentraciones elevadas de Co, Cu y Ni. Por otra parte, al emplear el método de lixiviación TCLP, ninguna de las muestras presenta concentraciones por encima de los límites de regulación de toxicidad para los elementos estudiados (As, Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb y Zn).

En el 2008, Silva *et al.*, presentan un estudio de la masa de residuos sólidos generados por una empresa metalúrgica situada en Tandil, Provincia de Buenos Aires. Identificaron y clasificaron cada uno de los diferentes tipos de residuos producidos en las distintas secciones involucradas en el proceso de producción de piezas para la industria automotriz. Estimando de esta manera, parámetros de balance de masa, relación porcentual entre cada tipo de residuo y la relación entre residuos totales y producto final comercializado por la empresa. Con base en estos datos, efectuaron proyecciones de la cantidad de residuos esperados de manera quincenal. Concluyendo finalmente, que la efectividad del sistema de gestión de residuos de la empresa dependía de manera crítica de la precisión en la predicción de generación de residuos sólidos.

Por otra parte, el avance sobre de las investigaciones sobre el uso de hormigones para encapsular los contaminantes presentes en las arenas de fundición han despertado el interés de investigadores como Aguirre, quien en el 2008, realizó pruebas de resistencia y tracción de hormigones fabricados con diferentes tipos de residuos de fundición, arenas de fundición verde, arena de fundición con bentonita, escorias de alto horno y escorias de horno eléctrico, evaluando la proporción de sustitución de estos residuos para demostrar su comportamiento para diferentes usos.

En el 2008, en Posadas Provincia de Misiones, Lalla y Pasquini, incursionaron en la elaboración de ladrillos y tejas de arcilla roja para uso civil, mediante el diseño de mezclas con distintos porcentajes de ADF con arcilla, analizando las propiedades micro-estructurales como porosidad, densidad y micro-dureza de estos productos, obteniendo de esta manera resultados satisfactorios que permiten concluir que este método podría llegar a ser un elemento fundamental en la gestión de este tipo de residuos.

Es evidente, que la preocupación por la incidencia ambiental de los residuos generados en la industria metalúrgica ha sido no solo un foco de preocupación en la Argentina, sino que en países como México, España, Colombia y Brasil se evidencia la misma incógnita de cómo mejorar el proceso productivo de este tipo de industria con el fin de dar una mejor gestión tanto a los recursos como los residuos característicos en la fundición (Natividade, 2009). Es por esto, que en el 2009 Natividade, genero mediante un estudio de impacto ambiental específico de cada sector de una empresa metalúrgica ubicada en Salvador Bahía, un diagnóstico detallado evaluando la incidencia al ambiente de cada uno de los procesos productivos de esta empresa, evidenciando de esta manera que el principal impacto era la eliminación de la arena empleada en los moldes, demostrando que incluir un proceso de recuperación térmica permite reducir a cero la concentración de fenoles presentes en la resina que es adicionada a la arena de moldeo. Así mismo, propone la posibilidad de dar usos alternativos a los ADFs como la fabricación de bloques de construcción, uso sobre asfalto, etc.

Estados Unidos es considerado uno de los países con mayor interés investigativo sobre la incidencia ambiental de la industria de la fundición, por lo que es posible destacar

investigaciones realizadas por Dungan (2008) sobre concentraciones de dioxinas, furanos y PCBs en muestras de ADFs, evidenciando la presencia de algunos de estos componentes pero en concentraciones por debajo o cercanas al límite inferior de las detectadas en estudios en suelos. Los aportes de este trabajo que fue realizado en colaboración entre el USDA, USEPA y la AFS, fue el análisis del uso beneficioso de las ADFs en suelo.

Deng (2009), continuo el aporte investigativo de USA a la caracterización química de las ADFs, en su publicación reportando al igual que Dungan que en la mayoría de las ADFs se encuentran materiales no peligrosos en términos de su concentración total y en lixiviados, concluyendo que la mayoría de las ADFs son materiales no peligrosos en términos de la concentración total y en lixiviados de HAPs, fenoles y metales respecto a los límites de regulación de Estados Unidos.

Como parte de su tesis de Maestría, Miguel (2009), realizo en Argentina el relevamiento de sitios de disposición final de ADFs y otros residuos de industrias de fundición en la ciudad de Tandil. Encontrando que la disposición final de ADFs se realizaba sin ningún tipo de prevención en cavas de cantera, ladrilleras y terrenos bajos, dentro o en cercanías al casco urbano de Tandil. Evidenciando que la disposición de los residuos de fundición se produce en un ámbito de desconocimiento sobre las características químicas de los mismos y sus potenciales efectos en el ambiente, en especial hacia el recurso hídrico subterráneo. Miguel concluye remarcando que existe una incertidumbre en cuanto a la categorización de los residuos industriales especiales o no especiales tanto por industriales como por los tomadores de decisión a nivel local, provincial y nacional (Miguel, 2009).

La búsqueda de nuevos métodos estratégicos para la gestión de los ADFs, han tenido en los últimos años una evolución innovadora que permite analizar este tipo de residuos no como un problema sino como una oportunidad para suplir algunas de las necesidades principales de los países, como por ejemplo, la obtención de materiales para la construcción de viviendas, vías y otro tipo de obras civiles. Guerino *et al.* (2010) realizaron un importante aporte a esta problemática estudiando la factibilidad de la

fabricación de cerámica triaxial a partir de arena residual generada en la fundición de hierro. Por consiguiente, prosiguió a evaluar el desempeño de las cerámicas como método de encapsulamiento pruebas de lixiviación de acuerdo a normas Brasileñas, absorción de agua y micro-estructura del material resultante. De la misma forma, analizó la posible liberación de gases de efecto invernadero en el proceso de fabricación de las mismas obteniendo de esta manera resultados favorables que demuestran la factibilidad de estos elementos en el encapsulamiento de contaminantes propios de los ADFs

En el 2012, Cortes *et al.*, realizó un estudio de factibilidad técnica de los ADFs para el uso como materia prima en la construcción, para esto emplearon pruebas CRIT en Absorción atómica y Cromatografía de gases para las muestras de arenas residuales de una industria metalúrgica en el estado de Hidalgo en México, evidenciando mediante estas pruebas la factibilidad de estos residuos para ser empleados como materia prima para la obtención de productos alternativos en la industria de la construcción, debido a la baja presencia de elementos peligrosos encontrados en los mismos.

Por otra parte, Novais de Oliveira y Ribeiro da Costa (2012), realizaron un estudio en busca de relevar los nuevos avances en el uso de los ADFs en la gestión ambiental, enfocando dicho análisis a la problemática ambiental del estado de Santa Catalina en Brasil, mediante la revisión de investigaciones realizadas sobre este tema analizaron la factibilidad técnica de las diferentes formas de gestión, como lo es la transformación de este residuos en insumo para la construcción y la minimización de generación mediante la reutilización de estos residuos dentro del mismo proceso productivo de la industria metalúrgica.

El estudio más reciente en Argentina sobre la implicancia ambiental de la industria de la fundición, ha sido llevado a cabo por Sosa *et al.*, en el 2013. Quien busco establecer Indicadores de Condición Ambiental (ICA) tomando como prueba piloto una empresa especializada en la fundición de hierro ubicada en Tandil Provincia de Buenos Aires. La importancia de esta investigación radica en la generación de una herramienta que permite determinar la situación ambiental en el entorno (agua, aire y suelo) de industrias

de este rubro, aportando datos técnicos que hasta el momento son desconocidos por las autoridades ambientales y los mismos empresarios. Dichos indicadores, pueden ser empleados como herramienta de control sobre la gestión ambiental de las empresas metalúrgicas. De esta manera, Sosa *et al.*, (2013), abren un nuevo campo en los avances de la gestión ambiental.

La investigación realizada por Miguel *et al.*, (2012), ha evidenciado que independientemente del metal fundido, las arenas de fundición muestran resultados de concentraciones similares a los encontrados en las arenas vírgenes y suelos nativos. No obstante, con el uso de aglutinante Alquidico Uretánico, las concentraciones de Co y Pb se incrementan, por lo tanto para evitar la contaminación de los ADFs con estos metales se pueden utilizar sistemas aglutinantes alternativos con concentraciones de metales inferiores. Se concluye estableciendo que de acuerdo a los resultados evidenciados las concentraciones de metales encontrados en las muestras están bajo las establecidas por Ley, por lo cual este tipo de residuo no se debe considerar como peligrosos, teniendo un potencial como materia prima sin afectación de la salud humana y del medio ambiente.

El interés por dar un uso alternativo a las arenas de fundición en la agricultura y aplicaciones geotécnicas se ha incrementado a través del tiempo, pero la limitación de su uso se enmarca en la potencial afectación que estos pueden tener al posibilitar la infiltración de metales al suelo y por consiguiente a las aguas subterráneas. Dicha situación generó el interés de investigadores como Miguel el cual en el 2013 realizó un trabajo con el objetivo de cuantificar las concentraciones de Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en lixiviación en diversas muestras de residuos de fundiciones ferrosas y no ferrosas, haciendo un análisis comparativo para estudios de toxicidad contrastándolos con los límites de concentraciones permitidos por las leyes de Argentina y los Estados Unidos para residuos peligrosos. Como producto de dicha investigación se encontró que las concentraciones de metales identificados se encontraban por debajo de los niveles de peligrosidad a excepción de los que empleaban aglomerante alquídico uretánico ya que estos presentaban concentraciones de Pb por encima de los límites de regulación.

Los estudios más recientes sobre las características de las ADFs como el realizado por Miguel (2014), indican que de acuerdo a las características químicas y toxicológicas de

estos residuos es indispensable que cada industria analice su modelo de gestión de residuos para caracterizarlos y verificar que los mismos no generan algún tipo de incidencia en las aguas subterráneas cuando son dispuestos en suelo. Para ello se pueden emplear sistemas de simulación desarrollados por la USEPA, lo cual también permitirá a los organismos de control no solo tener mayor información sobre la gestión de cada industria sino analizar la conveniencia de modificar los límites de concentraciones permitidos para este tipo de residuos considerando legislaciones de países con un mayor desarrollo sobre esta temática.

Es posible evidenciar que la preocupación por la afectación ambiental que puede llegar a tener este tipo de residuos ha mostrado un crecimiento considerable, por lo cual diversos grupos de investigación e instituciones universitarias han avanzado en la obtención de conocimiento sobre las características de las ADFs y sus usos alternativos para la prevención de la contaminación y protección de los recursos naturales. No obstante, la información generada hasta el momento es insipiente, por lo cual se espera que en los próximos años este tema adquiera una mayor relevancia, promoviendo al conocimiento y por supuesto a la implementación de nuevas prácticas que bajo un marco regulatorio, brinden herramientas de gestión y control para las industrias metalúrgicas.

### **3. MARCO NORMATIVO**

En la República Argentina actualmente se cuenta con un amplio marco regulatorio en materia ambiental, organizado a nivel Nacional, Provincial y Municipal. No obstante, en cuanto a residuos peligrosos resulta necesario establecer en forma precisa conceptos claves, como las definiciones de residuo, recuperación o valorización y eliminación, así como también tener en cuenta no sólo la fase de residuo sino todo el ciclo de vida de los productos y materiales. Si bien la normatividad legal actual brinda un marco de referencia para que las autoridades de control y generadores de residuos peligrosos, el mismo no es de conocimiento general por todas las partes por consiguiente no permite que se analicen y gestionen de manera adecuada todos los tiempos de residuos que bajo la legislación son considerados peligrosos para el ambiente y la población. A continuación se exponen los puntos más relevantes de cada ámbito de aplicación con énfasis en las ADFs en materia legal que se han considerado como marco soporte para el presente trabajo.

#### **3.1. Nacional**

En el año 1994, la Constitución Nacional estableció que “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la Ley”.

Así mismo se establece bajo el Artículo 41 que es la Nación a quien le compete dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.

En la misma también se dicta la prohibición del ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

Este mismo Artículo 41, regula la responsabilidad civil por el daño ambiental, estableciendo la obligación de recomponerlo, en el sentido que no es admisible la indemnización económica de los daños ambientales, siendo obligación de las personas físicas o jurídicas que lo hayan causado, reponer el medio ambiente al estado que éste tenía antes del daño siempre y cuando sea posible. Solo si esa reparación "en especie" no fuera posible, la empresa o el particular deben pagar indemnización. De la misma manera, se interpreta que la obligación civil de reparación del medio ambiente es "integral", es decir, que deben repararse todos los daños, mediatos o inmediatos.

Por otra parte, Ley General del Ambiente (LGA). Ley N° 25.675 (2004) establece un sistema federal de coordinación interjurisdiccional para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional (Artículo 1º, inc. j), instrumentado a través del COFEMA, cuyo objeto es la articulación de estas políticas para el logro del Desarrollo Sustentable, entre el gobierno nacional, los gobiernos provinciales y el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Se establecen los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Enumera también los instrumentos de la política ambiental. Define a los presupuestos mínimos y al daño ambiental. Establece la obligatoriedad de contratar seguros ambientales. El bien jurídico protegido por esta Ley es el ambiente. Establece además, medidas precautorias para casos de urgencia y contiene un régimen de responsabilidad civil especial y ampliatorio del contenido en la Ley Nacional de Residuos Peligrosos.

La Ley Nacional 25.916 de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios, sancionada en el año 2004 establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.

Es en este marco, donde los residuos industriales no especiales deben enmarcarse a fin de tender a su gestión integral. Parte de los objetivos de la Ley son: Lograr un adecuado y racional manejo de los residuos domiciliarios mediante su gestión integral, a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población; promover la valorización de los residuos domiciliarios, a través de la implementación de métodos y proceso.

No obstante Ley N° 25.612 de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, o derivados de ellos, quedando excluidos de su régimen y sujetos a sus normativas específicas, entre otros, los residuos domiciliarios.

El marco legal a nivel nacional que regula la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a la Ley 24.051 y el Decreto Reglamentario N° 831/9, estableciendo que cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional, se aplica en aquellos supuestos de interjurisdiccionalidad, es decir, cuando un residuo peligroso es generado, transportado o tratado y/o dispuesto finalmente fuera de la jurisdicción provincial. Así mismo, contiene un régimen de responsabilidad civil, penal y administrativa. El régimen civil y penal estatuido por esta norma se aplica en todo el país.

Otra de la normativa ambiental que se encuentra directamente relacionada con los ADFs por su incidencia de su actual disposición es la Ley N° 22.428 de fomento de la Conservación de los Suelos. La cual declara de interés general la acción privada y pública tendiente a la conservación y recuperación de la capacidad productiva de los suelos, y fue reglamentada mediante el Decreto N° 681/81 del 27/3/81.

El sistema de Responsabilidad Civil, Penal y Administrativa contenido en el marco normativo vigente, se encuentra, en primer lugar y a nivel nacional, en las normas de presupuestos mínimos ambientales, que se aplican en todo el territorio de la República.

En la Ley General del Ambiente, el régimen de responsabilidad se encuentra contemplado en los arts. 27 al 33, donde el bien jurídico protegido es el ambiente y define el “daño ambiental” (art. 27): “hechos o actos jurídicos, lícitos o ilícitos que, por acción u omisión, causen daño ambiental como toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas, o los bienes o valores colectivos”.

Por otra parte, la República Argentina ha generado leyes en pro a la conservación y cuidado ambiental a través de convenios internacionales entre los cuales podríamos considerar como los más relevantes a la Ley N° 25.278 generada a través del Convenio de Rotterdam, la cual aprueba el dicho convenio sobre el procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a ciertos plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos objeto de Comercio Internacional, con el objetivo de permitir un mayor y mejor conocimiento de los productos químicos potencialmente peligrosos que se reciban. Abarca plaguicidas y productos químicos industriales prohibidos o rigurosamente restringidos por las partes por motivos sanitarios o ambientales y para los que se requiere presentación de notificaciones.

Así mismo la Ley N° 23.922 con la cual se aprueba el convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, suscripto en Basilea, Suiza. El objeto de esta Ley es reducir el movimiento transfronterizo de estos residuos, para tratarlos y disponerlos en forma ambientalmente adecuada y próxima a su fuente de generación, a la vez que promueve la minimización de la generación de residuos peligrosos.

La legislación Ambiental del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) creada a través del Tratado de Asunción suscripto el 26/3/91 entre Argentina, Uruguay, Brasil y Paraguay, ha dictado la Resolución N°22/92 resolviendo crear una Reunión Especializada de Medio Ambiente, que analizará las normas vigentes y propondrá recomendaciones al Grupo Mercado Común sobre las acciones que considere necesarias a los objetivos de preservación ambiental, en las diferentes áreas de trabajo.

También, el Convenio de Estocolmo ha dado la creación a nivel nacional de la Ley N° 26.011 la cual aprueba el Convenio de Estocolmo sobre Reducción y Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP's). Con el objetivo de la inclusión precautoria ante la incertidumbre, reducción y eliminación de COP's, compromisos financieros de países desarrollados, llamamiento a la prevención de la producción de nuevas sustancias químicas COP's.

---

### **3.2. Provincial**

La gestión de residuos peligrosos en la provincia de Buenos Aires, en la cual se denominados como “especiales”, se enmarca dentro de la Ley Provincial 11.720, en la cual el organismo de control o aplicación es el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS, 1997). Dicha Ley y su decreto 806/97 reglamentan la generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos especiales generados en el ámbito territorial de la Provincia de Buenos Aires siguiendo los lineamientos de la Ley Nacional 24.051 en cuanto a las diferentes instancias de gestión del residuo (generación, transporte, almacenamiento, tratamiento, disposición final y trazabilidad por manifiesto).

De esta manera se consideran residuos especiales todos aquellos alcanzados por el Anexo I (categoría de desechos a controlar y constituyentes peligrosos) y que posean algunas de las características peligrosas del Anexo II cualquiera sea su estado de agregación, sin discrepar cual sea la concentración de la sustancia peligrosa que a este lo caracterice ya que no poseen tablas con los límites máximos de concentraciones de elementos en residuos por lo cual se deben considerar los parámetros establecidos en las tablas del Dto. 831/93 de la Ley Nacional.

La Provincia de Buenos Aires a través de la Resolución 228/98, ha permitido considerar como insumo de otro proceso a un residuo especial siempre y cuando no sea necesario tratarlo. Incentivando de esta manera a la valorización del mismo y evitar su tratamiento y disposición final.

Con el objetivo de fijar procedimientos de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), en el año 2006 se dio lugar a la Ley 13.592. Esta Ley permite dar a los residuos producidos en una zona, el destino y tratamiento adecuado, de una manera ambientalmente sustentable, técnica y económicamente factible y socialmente aceptable, comprendiendo las siguientes etapas: “generación, disposición inicial, recolección, transporte, almacenamiento, planta de transferencia, tratamiento y/o procesamiento y disposición final”. De esta manera, en el marco de la Ley 13.592 el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible creó el registro de operadores de residuos industriales no especiales a través de las Resoluciones 367 y 1.215, estableciendo que los residuos industriales no especiales deben ser transportados solamente por empresas habilitadas y en adición con el fin de garantizar la correcta disposición final de los RSU dentro de la Provincia de Buenos Aires.

### **3.3. Municipal**

En la Municipalidad de la Matanza, la escasa normativa en materia ambiental se encuentra dada al fuerte control que organismos de aplicación como OPDS y en algunos casos dentro de la competencia municipal el ACUMAR ejercen sobre las industrias de la zona. Es de esta manera que la Municipalidad de la Matanza adhiere la normativa legal provincial como la Ley N° 13.592 de la Provincia de Buenos Aires y 1.854 de la C.A.B.A, las cuales establecen claramente que “Cada municipio es el responsable de los residuos generados en su territorio. Por tal motivo, cada municipio debe instrumentar y garantizar una adecuada gestión de los mismos”. Ambas leyes exigen la reducción gradual de la cantidad de residuos que se envían a relleno sanitario. En este aspecto, la actual crisis de donde instalar nuevos rellenos sanitarios y como resolver la disposición final de la totalidad de los residuos de la región metropolitana no es ajena a los municipios de la cuenca.

Por otra parte, el Decreto N° 9.111/78 de la Ley 13.592, han dictado ordenanzas que impiden el ingreso de residuos de otros municipios a sus territorios. Esta práctica, aunque propia en el esquema logístico actual de Gestión de Residuos, puede ser vista como incongruentes de manera práctica ya que no es factible que existan transportistas

ni tratadores en cada uno de los Municipios de la Provincia generando un inconveniente para el desarrollo de una Gestión Integral inteligente y sustentable.

No obstante, una de las herramientas a nivel normativo más relevante de la Municipalidad de la Matanza corresponde a la Ordenanza 15.314/2006 con la cual el Concejo Deliberante, sanciona la Ley N° 6.769/58, estableciendo que las industrias ya instaladas que dieran cumplimiento a lo exigido en el Artículo 5° donde se les concederá plazo para la presentación de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental, a los fines de obtener el Certificado de Aptitud Ambiental, por lo cual deberán mantener información sobre el tipo de residuo que están generando y la documentación referente a su disposición final acorde al marco regulatorio Provincial.

#### 4. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial el sector de la fundición es el responsable de la generación de aproximadamente 100 millones de toneladas de ADFs al año, de las cuales 10 millones corresponde a Estados Unidos (Dungan y Dess, 2009) y 3 millones Brasil (Carnin *et al.*, 2012). A estos países se suman China, India, Japón, Corea, Rusia, México, Alemania, Italia y Francia quienes comparten el mayor volumen de productos fundidos (Modern Casting, 2011) convirtiendo a los ADFs en uno de los residuos más voluminosos a nivel global.

Por otra parte, en Argentina la generación de ADFs muestra variaciones generadas a través de decisiones sociopolíticas que impactan de menor o mayor proporción a la producción Nacional. De acuerdo a los estudios realizados por Miguel (2004) las relaciones entre kilos de pieza terminada y kilos de ADF oscilan, en general, entre 1:1 y 1:4, dependiendo del proceso productivo en cuestión y del tipo de metal fundido, si se calcula que para la fabricación de 1 Kg piezas terminadas se genera 1 kg de ADFs se obtendría un estimativo de las toneladas de ADF generadas en Argentina según la Tabla 1 para el periodo comprendido entre 2002-2014.

**Tabla 1.** Generación de ADFs en Argentina del 2002 al 2014.

<b>Periodo</b>	<b>ADFs Miles de Toneladas</b>
2002	132,2
2003	171,7
2004	204,0
2005	224,8
2006	237,2
2007	245,7
2008	229,4
2009	153,2
2010	161,4
2011	166,4
2012	164,8
2013	145,6
2014	141,1

Fuente: El Fundidor 2015 (CIFRA).

Es por esta razón que la generación de este tipo de residuos resulta ser el impacto ambiental de mayor consideración en la industria metalúrgica (Alves *et al.*, 2013). El principal problema de la generación de arenas de fundición radica su disposición final ya que en su mayoría son desechadas de manera incontrolada en lugares no autorizados y bajo medidas no controladas. Dicha gestión es atribuida a las altas tarifas que llevan consigo tratar este residuo como un elemento especial o peligroso, llevando a que este valor se internalice en el costo del producto, haciéndolo poco competitivo con el mercado nacional o internacional, o bien llevarlo a emplear malas prácticas como la disposición de los ADFs en rellenos en cavas o terrenos bajos, con el grado potencial de contaminación ambiental que podría llegar a tener y en particular el impacto que generaría en el recurso hídrico superficial o subterráneo (Aguirre, 2008).

De acuerdo a marco legal nacional (Ley 24051 de Residuos Peligrosos y 25612 de Gestión Integral de Residuos Industriales y de Servicios) y de la Provincia de Buenos Aires (11720 de residuos especiales), deberán realizar la disposición final de estos residuos por medio de un gestor autorizado por el organismo de control (Miguel *et al.*, 2005). No obstante, la disposición final de este tipo de residuos mediante lo establecido en la normativa legal vigente no establece una solución clara y eficiente para la gestión de los ADFs, debido a que existe incertidumbre acerca de considerar a los ADFs como residuos industriales peligrosos o no (Miguel *et al.*, 2012). Esta discusión se presenta a nivel nacional debido a la falta de estudios e iniciativas de los entes de regulación y control en el análisis de dicha situación. A nivel internacional en cambio, se ha avanzado en esta línea por medio de estudios de caracterización química en lixiviados (Jiet *al.*, 2000; Dungan, 2006; Deng, 2009, Miguel *et al.*, 2014) y en la matriz del residuo (Dungan y Dees 2009; Miguel *et al.*, 2012). Estos trabajos concluyen que los ADFs son en su mayoría residuos no peligrosos, aunque existen excepciones debidas a las particularidades de los procesos productivos.

Así mismo, bajo el punto de vista ambiental, disponer como un residuo peligroso a los ADFs tampoco brinda una solución clara y concreta, puesto que por su gran volumen de generación contribuiría a la disminución de la vida útil de los rellenos sanitarios generando por consiguiente necesidades de intervenir otras áreas para emplearlas para

dicho fin, lo cual no solo genera un impacto económico y ambiental sino también social (Dungan y Dees, 2009).

Por esta razón, analizar la eficacia de nuevos métodos de gestión para los ADFs, dentro de las industrias de la fundición permite entre otras cosas, hacer un análisis de corrientes de generación para optimizar la gestión de los residuos dentro de la empresa, identificar el tipo de elementos contaminantes que pueden llegar a tener las arenas de fundición, evitar las malas prácticas que repercuten en la calidad del agua superficial o subterránea y suelos, disminuir los costos por el tratamiento de estos residuos, e inclusive analizar la posibilidad de valorizar los ADFs como materia prima en otros procesos productivos (Deng, 2009).

Dentro de esta última alternativa se ha analizado la incorporación de ADFs en mezclas asfálticas en caliente (Marcozzi *et al.*, 2010), hormigones de cemento portland (Sota *et al.*, 2007), pretensados de hormigón (Bernocco y Porterie, 2009) sumándose estudios preliminares para su uso en la elaboración del cemento portland (Elizalde *et al.*, 2010).

Es por esto, que incentivar a las empresas para analizar la gestión de sus residuos dentro de su proceso productivo, sería en principio un avance fundamental no solo para la reducción de gastos por disposición que le representa a la industria, sino reducir de manera considerable la explotación de canteras y evitar la inadecuada gestión en la eliminación de ADFs que actualmente la mayoría de las empresas metalúrgicas llevan a cabo (Novais de Oliveira y Ribeiro da Costa, 2012).

Es de esta manera, que el presente trabajo tiene como enfoque principal realizar una caracterización detallada del proceso productivo a nivel de generación de arenas de fundición de la empresa Industrias Águila Blanca S.A., ubicada en Isidro Casanova en la provincia de Buenos Aires, dedicada a la fundición gris y nodular para la elaboración de tubería y accesorios para gas. Se realizó la caracterización de la composición química de lixiviado de las arenas descartadas de fundición por medio de análisis de laboratorio según metodologías de la EPA Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente). Las concentraciones de elementos en lixiviados por encima de los niveles de regulación para residuos peligrosos fueron corridas en el

programa de simulación para la evaluación de gestión de residuos industriales IWEM  
2.0.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Evaluar la gestión de arenas descartadas de una fundición de hierro gris y proponer su adecuada disposición final al correr el programa IWEM 2.0.

### **5.2. Objetivos Específicos**

Objetivo 1: Relevar el proceso productivo de una fundición de hierro gris con el fin de determinar las corrientes de las arenas de fundición generados.

Objetivo 2: Analizar la concentración de elementos presentes en las principales corrientes de arenas de fundición por el método de lixiviación.

Objetivo 3: Evaluar la modalidad adecuada de disposición final de arenas descartadas de fundición al aplicar el programa IWEM 2.0.

Objetivo 4: Efectuar recomendaciones para la adecuada gestión de arenas descartadas de fundición dentro y fuera del proceso productivo.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

A continuación se describe la metodología utilizada para caracterizar el proceso productivo, las arenas descartadas de fundición y su modalidad adecuada de disposición final en una fundición de hierro gris en Isidro Casanova Provincia de Buenos Aires.

### **6.1. Caracterización del proceso industrial y cuantificación de residuos**

El propósito de este trabajo en su primera parte fue analizar el proceso productivo de la industria y cuantificar la cantidad de ADFs. Se determinaron los puntos de origen de generación de residuos, insumos empleados, porcentaje de reutilización de arenas y finalmente se cuantificó la proporción de ADFs por tipo de pieza fabricada. Para la descripción del proceso se realizaron diagramas de flujo de procesos, análisis de corrientes y cantidades de residuos.

### **6.2. Determinación de concentración de contaminantes en ADFs**

Las arenas descartadas de fundición, como residuo de la industria de la fundición pueden contener metales y metaloides potencialmente dañinos para el hombre y el ambiente en general (Miguel, 2014).

Los estudios químicos ponen énfasis en los elementos y compuestos presentes en los lixiviados del residuo de acuerdo a normas estandarizadas y en menor medida el total de elementos y compuestos presente en la matriz del residuo (Miguel, 2010).

Los estudios toxicológicos publicados son escasos, debido a los costos y a la utilización de los ensayos de lixiviación como método indirecto de toxicidad.

### 6.2.1. Muestreo de ADFs

El método de muestreo consistió en un cuarteo adaptado a las particularidades de los ADFs (IRAM, 2003) utilizado por Miguel 2014 en su tesis Doctoral. Desde una pila de ADFs, se obtuvieron inicialmente unos 200 kg de material que luego fue mezclado y dividido en cuartos hasta aproximadamente 0,2 kg. Las muestras conglomeradas se trituraron, se rotularon y se colocaron en envases de polipropileno los cuales se fueron previamente lavados en agua destilada (Figuras 1A y 1B).



**Figura 1A.** Metodología de cuarteo empleada para la toma de muestras de arenas, **Figura 1B.** Envases de polipropileno con muestras.

Se tomaron un total de cuatro muestras, arena empleada para la fabricación de noyos tipo Shell Moulding con agregado de fenólica uretánica denominada M1; arena verde empleada en la fabricación de moldes de fundición, M2; arenas residuales de la fabricación de noyos, M3; y arenas residuales finales que son dispuestas por la empresa, M4 (Figura 2).



**Figura 2.** Tipos de arenas muestreadas: **A.** Arena revestida empleada para la fabricación de noyos, **B.** Arena de moldeo, **C.** Residuos de noyos empleados en la fundición, **D.** arenas de fundición descartadas.

### **6.2.2. Análisis de lixiviación en ADFs y determinación de analitos**

Para el presente estudio, se realizó la caracterización mediante análisis de laboratorio de las concentraciones de metales pesados, fenoles e hidrocarburos policíclicos aromáticos determinados en lixiviados extraídos de ADF bajo método EPA SW 846 1310 (Extraction Procedure). En el Anexo IV y VI del Decreto 831/93 de la Ley Nacional 24.051 establece a este tipo de ensayo como una herramienta para evaluar si los residuos pueden originar lixiviados cuyos constituyentes alcancen concentraciones por encima de los parámetros establecidos.

La determinación de elementos por el método de lixiviación, se llevó a cabo de acuerdo con los métodos mencionados en la Tabla 2 (USEPA, 2009).

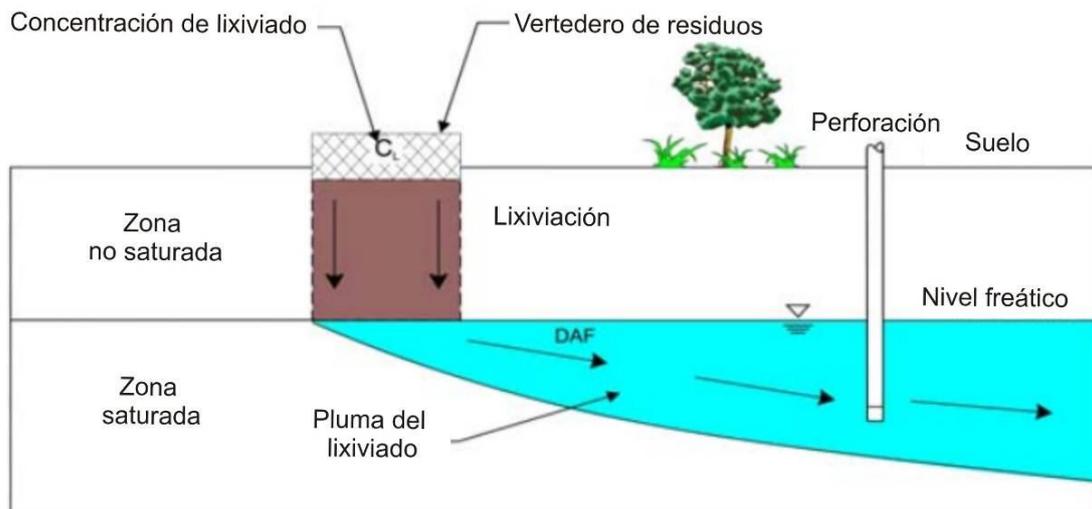
**Tabla 2.** Parámetros analizados y métodos analíticos empleados.

<b>Parámetro Analizado</b>	<b>Método Analítico Empleado</b>
Sobre Lixiviado	EPA 1310 B
Plata	EPA 3010 A/ 6010C
Arsénico	EPA 3010 A/ 6010C
Bario	EPA 3010 A/ 6010C
Cadmio	EPA 3010 A/ 6010C
Cobre	EPA 3010 A/ 6010C
Cromo	EPA 3010 A/ 6010C
Mercurio	EPA 7470 A
Níquel	EPA 3010 A/ 6010C
Plomo	EPA 3010 A/ 6010C
Selenio	EPA 3010 A/ 6010C
Zinc	EPA 3010 A/ 6010C
Compuestos Fenólicos	SM 5530 B/C
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Totales	EPA 3535 A/8310

### **6.2.3. Programa IWEM, modelo de evaluación de gestión de residuos industriales**

Debido a la complejidad de relacionar los análisis de lixiviación generados por pruebas de laboratorio con el efecto de los mismos en condiciones reales de áreas sometidas al depósito de ADFs planteada por Ham *et al.*(1988), se empleó para el presente estudio el modelo de evaluación de gestión de residuos industriales (IWEM, por sus siglas en Ingles) desarrollado por la USEPA, con el fin de definir el método de gestión más adecuado para la disposición final de las arenas descartadas de fundición estudiadas. Esta herramienta permite a las empresa conocer cuál es la mejor modalidad de disposición final de sus residuos y prevenir la contaminación del recurso hídrico subterráneo (Miguel, 2014 citando a USEPA, 2002).

El programa permite simular el aporte de elementos desde una masa de residuos hacia el recurso hídrico subterráneo a diferentes distancias a partir de la advección y dispersión del contaminante en zona no saturada y saturada en estado estacionario (Figura 3).



**Figura 3.** Perfil transversal del modelo conceptual generado por IWEM.

Fuente: USEPA, 2002; tomado de Miguel, 2014).

El IWEM funciona bajo el modelo de especiación geoquímica MINTEQA2 (USEPA, 2002), la limitación del programa al igual que otros, se relaciona con la disponibilidad de información sobre el área donde se deposita el residuo. Además, no siempre es posible conseguir datos sobre cambios estacionales en la recarga, presión del acuífero por bombeos o complejidad hidrodinámica. No obstante, este programa brinda información útil que bajo el criterio de la USEPA permite la toma de decisión adecuada para la disposición final de los residuos.

De esta manera, para correr el modelo se requirió conocer las concentraciones de los compuestos extraídos por el método de lixiviación de las ADFs, las características de la masa de residuo (volumen, altura, profundidad y permeabilidad) y las características hidrogeológicas del área de disposición de los residuos. Los datos de pH del agua, nivel freático, gradiente hidráulico, espesor de acuífero, tipo de suelo y recarga se obtuvieron de información secundaria de estudios realizados por las entidades de control e investigaciones hidrogeológicas.

El programa IWEM simula el comportamiento entre la concentración del lixiviado en el vertedero y la exposición de las aguas subterráneas. El modelo tiene la capacidad de calcular, en base la concentración de un elemento dispuesto en la superficie del vertedero, como esta disminuye de manera gradual como resultado de los procesos de dilución y de atenuación que se producen en el transporte gradual a través de la zona no saturada y saturada. Como dato de salida el IWEM brinda la concentración máxima esperada en una perforación localizada a una determinada distancia del área de relleno en estado estacionario, es decir, con el acuífero no afectado por bombeo (Miguel, 2014 citando a USEPA, 2002).

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Descripción del modelo de gestión y productivo de la empresa

Las industrias de la fundición tienen como proceso principal la fusión de metales o sus aleaciones para la producción de piezas, de acuerdo al tipo de pieza o necesidad se emplean diferentes tipos de metales lo cuales se funden con o sin el desarrollo de molde compuesto por arena.

Dos de las variables más relevantes en la fundición son el tipo de metal o aleación fundida y la tecnología utilizada para producir el molde. En la Tabla 3 se presentan los principales tipos de metales y aleaciones, sus temperaturas de fusión y los principales tipos de tecnología de moldeo.

**Tabla 3.** Tecnologías de fundición.

<b>Tipo de metal fundido</b>	Ferrosos	Fundiciones gris, nodular, blanca (fusión entre 1370 y 1130 °C)	
		Aceros (fusión entre 1370 y 1465 °C)	
		Otros	
	No ferrosos	Aluminio (fusión a 660 °C)	
		Cobre (fusión 1085 °C)	
		Plomo (fusión a 327 °C)	
		Bronce (fusión entre 830 a 1020 °C)	
		Magnesio (fusión a 650 °C)	
		Cinc (fusión a 420 °C)	
		Zamac (fusión a 400 a 420°C)	
		Otros	
	<b>Tecnología de moldeo</b>	Moldes perdidos	
		Coquilla	
Cera perdida			

Fuente: Miguel (2014).

De acuerdo a la información relevada durante el presente trabajo desde enero de 2014 hasta octubre de 2015, es posible observar la relación entre Kg de ADFs y los Kg de piezas producidas en IAB. De esta manera se verifica un ratio de generación de 0,541 (Kg de ADFs/Kg de piezas) y una variación de 5000 Kg mensualmente conforme al incremento o decrecimiento de la producción de piezas teniendo como máximo una generación de 35000 Kg y un mínimo de 2500 Kg de ADFs (Ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Relación entre Kg de ADFs y Kg de piezas producidas.

<b>Mes</b>	<b>ADFs (Kg)</b>	<b>Producción (Kg)</b>	<b>Kg ADF / Kg Producto</b>
Ene-14	25000	49619	0,504
Feb-14	30000	60240	0,498
Mar-14	25000	47151	0,530
Abr-14	30000	54960	0,546
May-14	30000	59629	0,503
Jun-14	25000	41950	0,596
Jul-14	30000	54480	0,551
Ago-14	30000	57343	0,523
Sep-14	35000	66607	0,525
Oct-14	35000	68166	0,513
Nov-14	30000	54695	0,548
Dic-14	30000	56921	0,527
Ene-15	35000	73877	0,474
Feb-15	35000	62377	0,561
Mar-15	25000	47089	0,531
Abr-15	30000	52424	0,572
May-15	30000	50127	0,598
Jun-15	25000	40094	0,624
Jul-15	30000	54520	0,550
Ago-15	30000	55006	0,545
Sep-15	35000	65665	0,533
Oct-15	30000	54091	0,555
<b>Max</b>	35000	73877	0,624
<b>Min</b>	25000	40094	0,474
<b>Media</b>	30000	55774	0,541
<b>Desvest</b>	3450	8323	0,035

### 7.1.1. Materias primas e insumos empleados

Los principales insumos empleados en la industria de la fundición gris y nodular objeto de estudio se describen en la Tabla 5. Así mismo, se han relevado las cantidades mensuales empleadas para la producción de un promedio de 55774 Kg de piezas/mes.

Al igual que otro tipo de industria las fundiciones varían su cantidad de producción de acuerdo a los requerimientos del mercado, las variaciones por políticas de exportación, entre otros factores. Por lo cual se realizó un relevamiento de la cantidad de las materias primas e insumos empleadas por la empresa mensualmente durante el 2014.

**Tabla 5.** Insumos empleados en la fundición gris y nodular.

<b>Materias primas e insumos</b>	<b>Tipo de presentación</b>	<b>Cantidad mensual</b>	<b>Unidad</b>
Chatarra de Hierro	Granel	40	Tn
Recarburante bolsas de 20 Kg	Bolsas	1800	Kg
*Ferromanganeso serio bolsas de 30 Kg	Bolsas	150	Kg
*Ferrosilicio bolsas de rafia sintética x 30 Kg	Bolsas	1000	Kg
*Carbón mineral	Granel	1000	Kg
*Bentonita	Bolsas	1200	Kg
Agua	Tanque	3000	Lts
*Polvo separador	Bolsas	10	Kg
*Arena revestida bolsa plástica x 30 Kg	Bolsas	3000	Kg
Aceite lubricantes	Tambor	600	Lts
Pintura en polvo cuñete c/bolsa plástica	Cuñete	1000	Kg

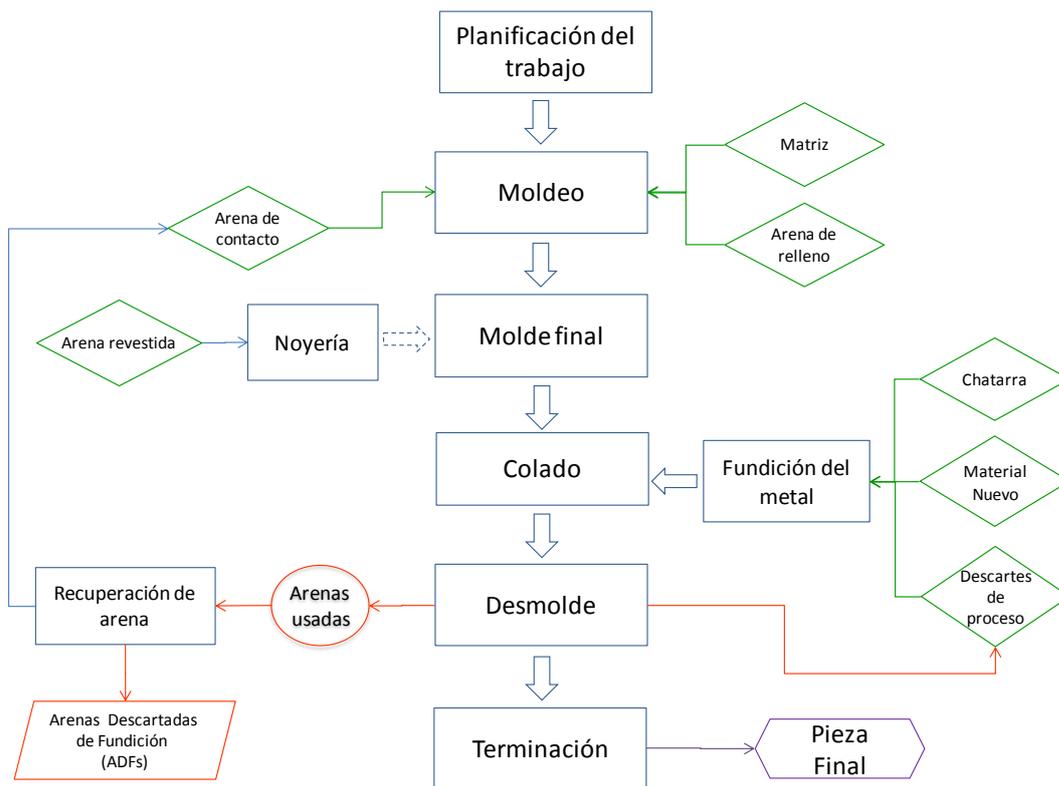
\*Materias primas identificadas como los elementos precursores de las ADFs.

### 7.1.2. Descripción del proceso productivo

La presente tesis tiene como objetivo en su primera instancia la realización de un relevamiento descriptivo detallado del proceso productivo de la empresa INDUSTRIAS AGUILA BLANCA S.A denominada a partir de ahora como (IAB). Los principales procesos desarrollados por la empresa son descritos en la Figura 4. De esta manera, se evidencia inicialmente la planificación del trabajo a realizar en función de la oferta y demanda de productos, posteriormente se realiza la fase de moldeo la cual puede o no incluir la fase de fabricación de noyó, posteriormente a la fabricación de la caja de

moldeo se desarrolla el proceso de colada del material fundido y consecutivamente desmolde de piezas, finalmente y de acuerdo a los requerimientos técnicos y visuales de la pieza puede llevar un proceso de terminación específico.

El material empleado por la empresa para todos sus productos es hierro gris obtenido de la recuperación de otras industrias y chatarra.



**Figura 4.** Proceso productivo general de Industrias Águila Blanca.

#### 7.1.2.1. Fabricación de noyos

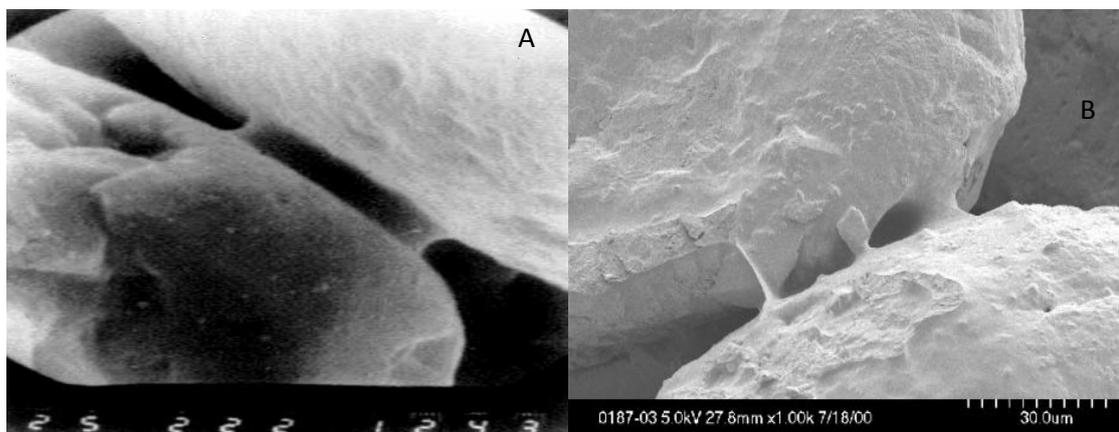
Los productos fabricados por IAB pueden o no utilizar noyos. Éstos son fundamentales para piezas específicas y que requieran en su interior un hueco, este es el caso de caños para gas o sus terminales. Los noyos se fabrican a partir de arena revestida comprada directamente al proveedor la que se encuentra compuesta por arena silíceo, preseleccionada en su granulometría, a la que se le incorpora un aglomerante fenol formol y hexaetilentramina para unir los granos de arena y así lograr cohesión y

resistencia entre otras propiedades, para que el noyó no sufra roturas durante su manipulación, obteniendo así una pieza sin fallas.

Aunque en el mercado se encuentran disponibles aglomerantes inorgánicos como cemento y silicatos, los mismos no son empleados en esta industria debido a que estos no poseen amplia difusión y aplicación en comparación con los sistemas Shell Molding (SHL) o aglomerantes orgánicos (Carey, 2002; Roa, 2003; Yu *et al.*, 2009).

El sistema SHL es muy utilizado para la confección de noyos y moldes “cascara”. Este sistema ofrece una alta resistencia en noyos y moldes y una excelente terminación de la pieza (Carey, 2002; Roa, 2003; Yu *et al.*, 2009) y una baja generación de residuos.

La unión de puentes de arena y aglomerante generan un entrelazado complejo que brindan al molde resistencia y permeabilidad para la liberación de gases. En las figuras 5A y 5B se muestran granos de arena unidos por “puentes” de aglomerante fenólico uretánico y aglomerante natural, respectivamente.



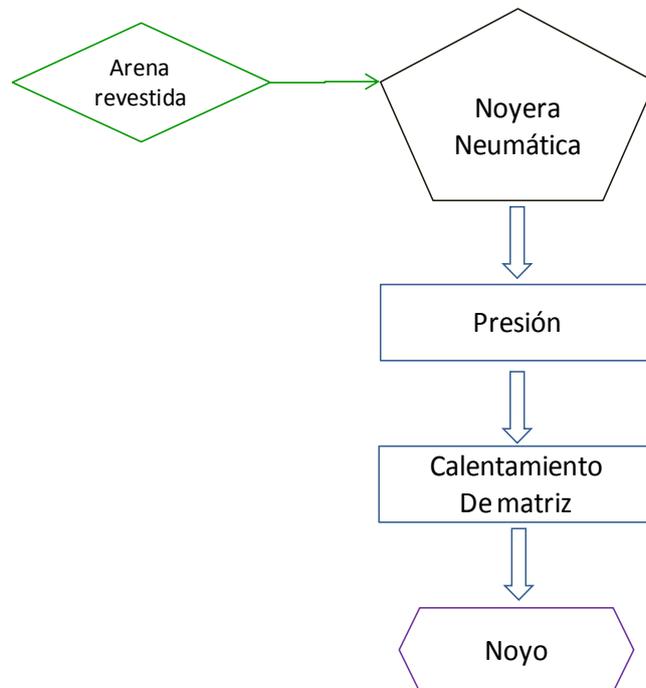
**Figura 5 A.** Puente entre granos de arenas silíceas con resina fenólica uretánica. **B.** Puente entre granos de arena silíceas con aglomerante natural GMBOND.

Fuente: Gardziella *et al.* (2000)

<http://www.epa.gov/airtoxics/ifoundry/binders/hormel10-26-05.pdf> citado por Miguel, 2014.

En la figura 6 se realiza una descripción del proceso de elaboración de noyos. Dicho proceso aunque bien se considera de baja complejidad operativa, a nivel ambiental es uno de los puntos más críticos debido a la alta carga de compuestos fenólicos contenida en ellos. Los residuos de noyos “crudos” es decir, aquellos que se descartan sin ser

utilizados en el proceso suelen poseer concentraciones de compuestos fenólicos por encima de los niveles de regulación (Miguel, 2014). A continuación se describe el proceso de elaboración de noyos.



**Figura 6.** Proceso de fabricación de noyos.



Para la fabricación de los noyos se emplea arena revestida la cual se encuentra compuesta de arena silíceo con una mezcla de resina fenol formol y hexaetilentramina en un 3%.



El proceso de fabricación de noyos se realiza mediante el sistema Shell Moulding (SHL) el cual está formado por un polímero fenol formaldehído tipo Novolac que se cataliza por temperatura cuando es expuesto junto a la arena a 200°C durante aproximadamente 60 segundos. El equipo utilizado es una noyera neumática la cual calienta la arena con resina a partir de la combustión de gas natural.

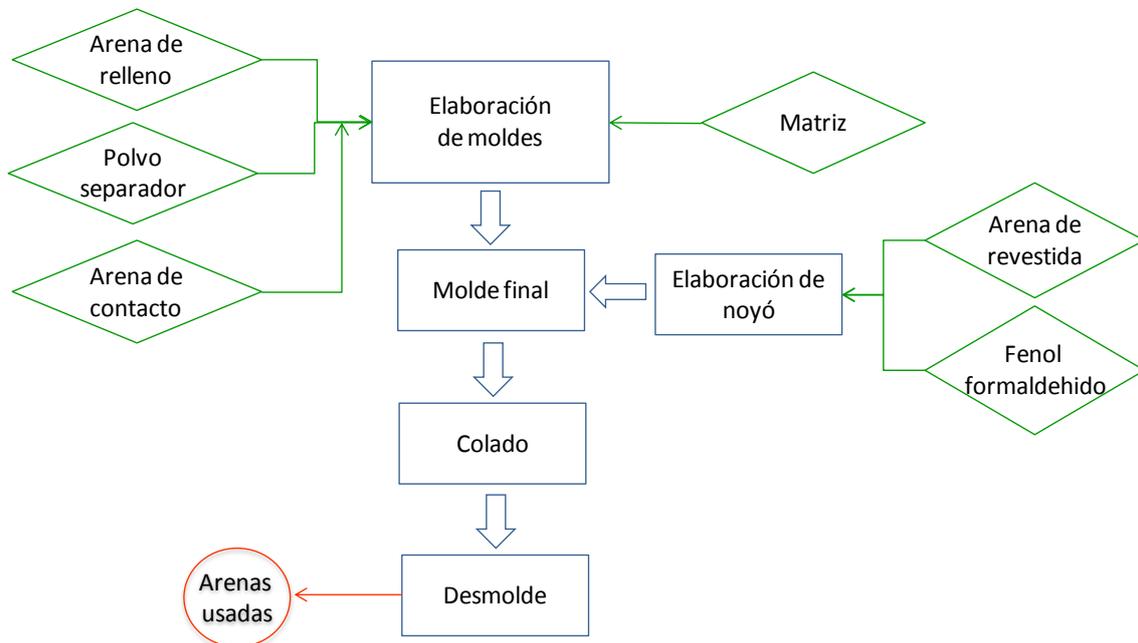


Luego de que la arena ha ganado resistencia, se extrae del noyo para su enfriamiento a temperatura ambiente.



Una vez terminado este proceso los noyos se encuentran listos para utilizarse en el proceso de moldeo.

### 7.1.2.2. Fabricación de moldes con arena verde



**Figura 7.** Proceso de elaboración de moldes de fundición.

Las arenas verdes corresponden a aglomerantes con bentonitas (sódica o cálcica) los cuales se encuentran compuestos de arcilla como principal agente aglutinante junto con carbón bituminoso y materiales celulósicos con el fin de generar una atmósfera reductora durante el colado del metal previniendo defectos en las piezas (Miguel, 2014).

El proceso de elaboración de moldes se realiza dependiendo de la necesidad de producción de manera semi automática o automática (Figura 7).

En la producción automática solo se requiere realizar la carga de la arena de contacto a un equipo de moldeo el cual incorpora y comprime la arena al cajón de moldeo empleando para esto la matriz seleccionada sin ningún tipo de asistencia manual. Este mecanismo permite generar moldes con mayor velocidad y continuidad durante el proceso (Figura 8).



**Figura 8.** Proceso de carga de arena de contacto al equipo de moldeo automático.

Por otra parte, el proceso de moldeo semi automático requiere la acción de un operario para su fabricación. Los moldes pueden incorporar o no noyos dependiendo el tipo de producto que se desea fabricar.

Para la fabricación de los moldes de fundición se emplean dos tipos de arena dependiendo la calidad de la superficie deseada en la pieza. La arena que tendrá contacto directo con el metal fundido se denomina “arena de contacto”, esta arena posee características que brindan a la pieza resultante una superficie o “piel” acorde a las necesidades del mercado. La arena de contacto es elaborada mediante un proceso de recuperación, el cual se explica más adelante.

Por otra parte, se emplea la “arena de relleno” la cual presenta características de bajo refinamiento ya que es empleada para rellenar y evitar la expansión del metal en estado líquido cuando es incorporado en el molde.

Es posible hacer uso de arena de relleno sin emplear arena de contacto, siempre y cuando la calidad de la pieza a fabricar no requiera una “textura de calidad”, por lo cual solo se adicionaría polvo de contacto entre la matriz y la arena de relleno en la preparación del molde de fundición.

A continuación, con el objetivo de comprender el proceso de moldeo se realiza la descripción de los pasos para elaborar un molde con el sistema de arena verde.



Se coloca una caja metálica-molde sobre la matriz del producto que se requiere fabricar y se aplica una fina capa de polvo separador



Se incorpora la arena de contacto para que copie la forma de la matriz.



Se completa la caja molde con arena de relleno hasta colmarla e impida algún tipo de fuga del metal en estado líquido.

---



Para garantizar la resistencia del molde se emplea una prensadora semi automática la cual emplea aire de alta presión permitiendo compactar la arena del molde.



Si se requiere fabricar algún artículo que sea hueco en su interior como tubería y acoples, se emplean noyos.



Cuando ya se encuentra listo el molde se retira la caja molde y se forman hileras para optimización del proceso al momento de colar el metal en estado líquido.



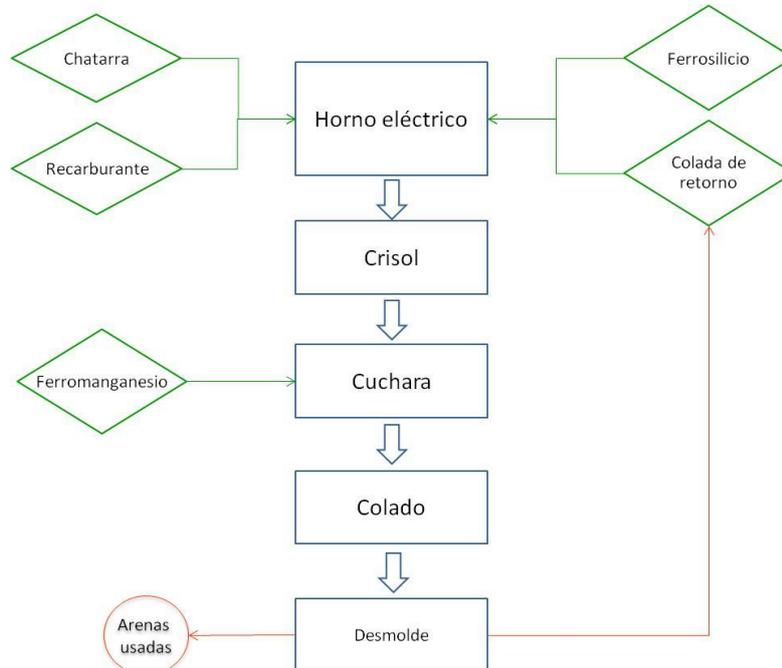
Finalmente, se recubren con arena de relleno y se pone en la parte superior del molde un contrapeso para impedir la pérdida de metal por el levantamiento del molde debido a la presión ejercida por el hierro fundido.

---

En esta instancia del proceso productivo pueden generarse roturas de moldes y noyos, esto además de significar una pérdida importante para la empresa genera un material que en ocasiones no permite su reciclado dentro del proceso y por consecuente se transforma en un residuo. De acuerdo, a los trabajos realizados por Miguel (2014), los residuos de noyos descartados en esta etapa son los que presentan la mayor concentración de contaminantes.

### 7.1.2.3. Fusión, Colado y Desmolde

En la Figura 9 se describe el proceso de fusión, colado y desmolde de piezas de hierro.



**Figura 9.** Proceso de fusión, colado y desmolde.

#### *Fusión*

El proceso de fusión de metales se realiza en tres hornos eléctricos (250kw, 500Kw y 700 Kw) de inducción, elevando la temperatura del metal por encima del punto de fusión a fin de incorporarlo en estado líquido a los moldes. Estos hornos permiten controlar la composición de la fundición al ser un proceso tipo batch (Ver figura 10 A y B).

En el proceso de fundición bajo horno eléctrico se emplea Ferrosilicio teniendo 75% de Silicio, el mismo carece de carbono debido a que en el proceso de fundición entre más rico en silicio menos carbono tiene, pudiendo variar entre 0,5 y 3% de C. El mismo es empleado con el fin de enriquecer las fundiciones pobres en silicio.

Así mismo, el material fundido es incorporado a tres crisoles de 1200 Kg, 700 Kg y 500 Kg de capacidad los cuales mantienen la temperatura de fusión del metal para

posteriormente ser trasvasados a cucharas de menor kilaje que incorporaran el metal al molde.

Las materias primas que se utilizan para fundir dependen de la necesidad de la pieza a producir y de los costos de mercado. Usualmente se utilizan fracciones de chatarra, metal nuevo y certificado en su composición, y retornos internos como coladas, canales, rebabas y piezas defectuosas.



**Figura 10A.** Hornos eléctricos empleados para fundir el metal (Hierro).



**Figura 10B.** Crisol empleado para mantener la temperatura del material fundido.

### *Colado*

Cuando el metal fundido alcanza las condiciones apropiadas de temperatura y composición química comienza el proceso de colada. El material es recolectado desde los crisoles por medio de cucharas en donde se le agrega ferro manganeso, este compuesto tiene la función de proteger contra la oxidación excesiva al hierro en forma líquida y es presentado de manera de escoria como un sobrenadante.

Posteriormente el material fundido es transportado y colado a los moldes para que tome la forma de la pieza deseada como se observa en la Figura 11 A y B.



**Figura 11A.** Incorporación de hierro fundido en los moldes.



**Figura 11B.** Hierro gris colado en proceso de enfriamiento.

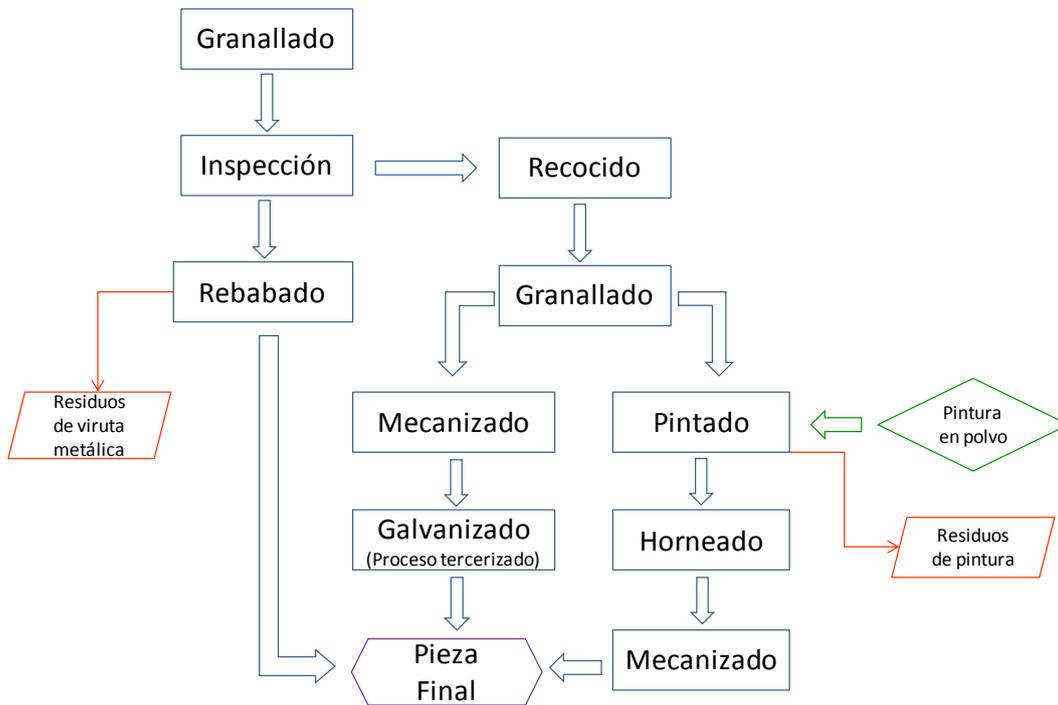
### *Desmolde*

El proceso de desmolde consiste en dejar enfriar las piezas a temperatura ambiente permitiendo la solidificación del metal según la Figura 12, la extracción de las piezas se realiza manualmente utilizando herramientas como masas o barretas. Los residuos de este proceso son enviados al proceso de recuperación o descarte según sus características.



**Figura 12.** Proceso de desmolde de piezas.

#### 7.1.2.4. Terminación



**Figura 13.** Proceso de terminación de piezas.

El proceso de terminación de piezas es imprescindible no solo para darle las características estéticas deseadas a la pieza, sino para garantizar su protección, Figura 13. Todas las piezas pasan por el proceso de granallado el cual permite limpiar y pulir la superficie del metal, previniendo la oxidación que puede llegar a generar en la pieza la humedad ambiental a la cual se expone (Figura 14A).

Posteriormente debe pasar por un proceso de rebabado para dar las terminaciones necesarias y eliminar los excesos de metal que inciden en la calidad visual del producto, este tipo de proceso genera mayormente como rezago material particulado y pequeños fragmentos metálicos, (Figura 14B).

En el caso de la fabricación maleable se requiere realizar el proceso de recocido de piezas, el cual consiste en el calentamiento de la pieza hasta una cierta temperatura y

se enfría lentamente (la  $T^{\circ}$  de calentamiento y velocidad de enfriamiento dependen de la necesidad del producto a fabricar), este proceso permite eliminar tensiones residuales y de esta manera disminuir la dureza y firmeza del hierro y facilitar la deformación, (Figura 14C).

Posteriormente la pieza entra en el proceso de pintado al horno que permite proteger la pieza ante la oxidación, el residuo de esta instancia es el polvillo generado por perdidas en el proceso, dicha incidencia ambiental es despreciable por la baja generación de residuos en este proceso y las baja peligrosidad ambiental que tiene la pintura en polvo compuesta por resina epoxi y pigmento de óxido de hierro, la cual es empleada en este proceso (Figura 14D).

Finalmente la pieza entra en el proceso de mecanizado para dar las terminaciones requeridas para su acople con otras piezas (Figura 14E).



**Figura 14 A.** Granallado de piezas.



**Figura 14 B.** Rebabado de piezas.



**Figura 14C.** Recocido para fundición maleable.

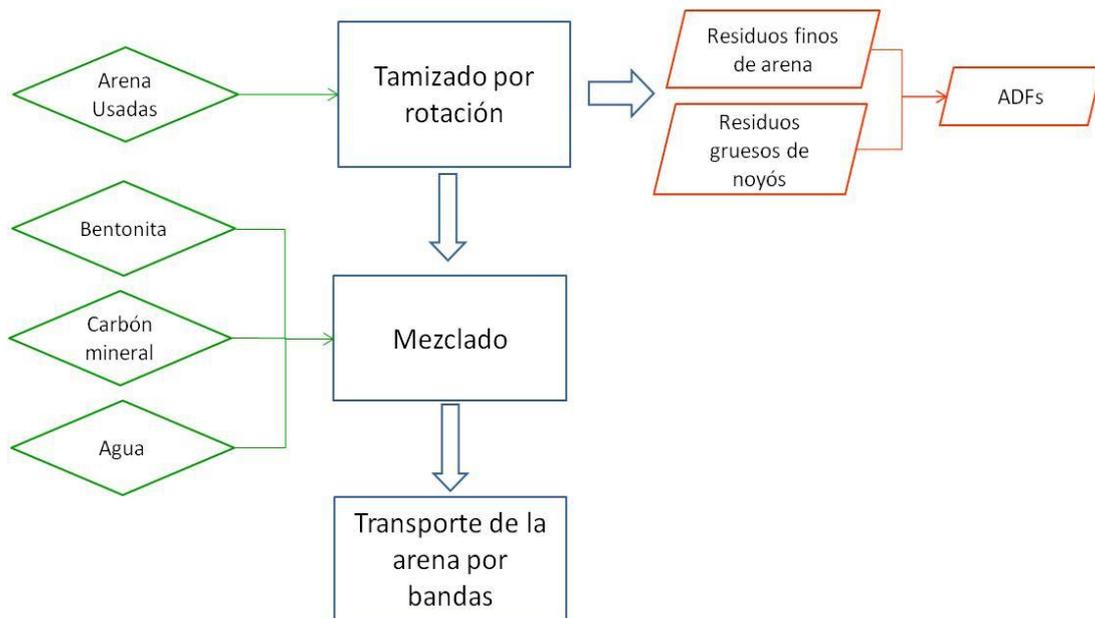


**Figura 14D.** Pintura de tubos y/o accesorios.



**Figura 14 E.** Mecanizado de piezas.

### 7.1.2.5. Recuperación de arena



**Figura 15.** Proceso de recuperación de arena verde.

La recuperación de arena es un proceso prioritario en la industria de la fundición puesto que permite a la empresa reducir los gastos por la compra de insumos y disposición de las ADFs (Figura 15). Así mismo, los altos volúmenes generados en

la fabricación piezas metálicas y su inapropiada disposición de ADFs es considerado el aspecto ambiental de mayor relevancia para la industria metalúrgica (Figura 16).



**Figura 16.** Arena descartada de fundición.

El proceso de recuperación aunque no requiere una alta tecnología si debe tener bajo control algunas de las variables requeridas para no incidir en la calidad del producto. Estas variables son la presencia de finos y humedad de la arena para la fabricación de moldes, estas afectan en la fluidez de la arena para el uso requerido.

En el proceso de recuperación de arena, la primera actividad realizada es la extracción de finos por aspiración que en varios puntos de la planta son extraídos como material particulado. Lo anteriormente mencionado es dado ya que las características propias de los finos ya que no permiten su integración a la mezcla de arena a recuperar incidiendo en la porosidad y por consiguiente en la calidad de la pieza a fabricar.

Posteriormente, la arena verde pasa por un proceso de tamizado para discriminar físicamente el material tanto fino como grueso que no son de utilidad en la recuperación, para esto se emplea un tamiz rotativo automático (Figura 17). Las arenas descartadas de fundición correspondientes a la mezcla entre rezagos de noyos, arena y material fino de aspiración, son finalmente recolectadas y dispuestas de manera informal.



**Figura 17.** Tamizado de arena.

La arena posteriormente es conducida al molino de preparación en el cual se le adiciona agua, bentonita y carbón mineral para dar la consistencia y humedad requerida para la fabricación de moldes (Figura 18). Las concentraciones de los insumos adicionados dependerán de las condiciones climáticas y necesidades de calidad del producto a fabricar.



**Figura 18.** Proceso de mezclado de arena.

Finalmente la arena pasa por el proceso de desterronado en el cual se busca la homogenización de la mezcla y posteriormente se las distribuye a través de bandas transportadoras a los sectores de carga automática y/o fabricación de moldes de manera semiautomática, Figura 19.

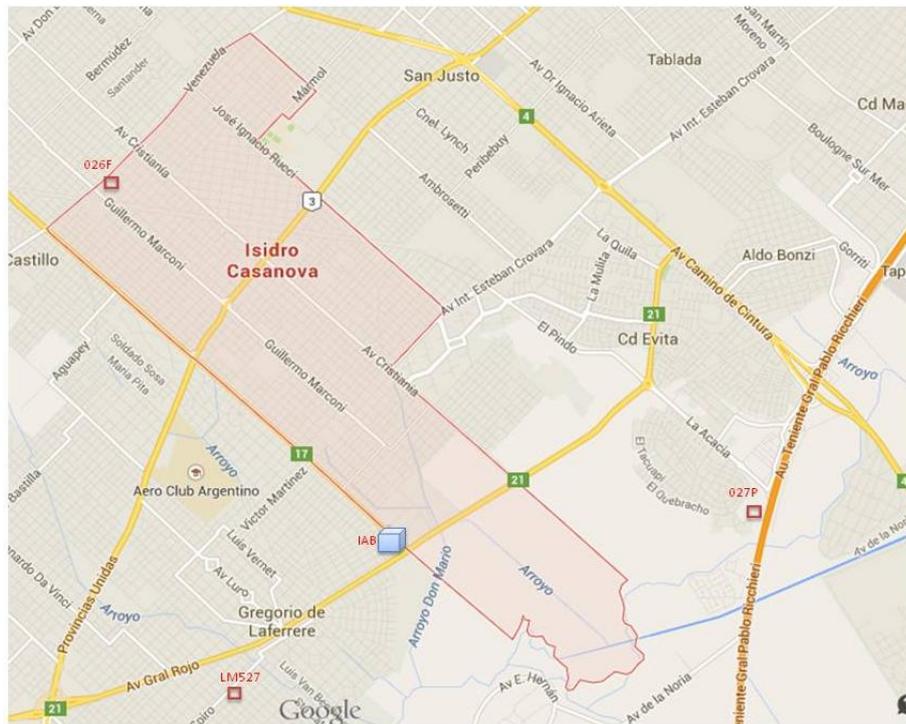


**Figura 19.** Proceso de desterronado y transporte de arena por bandas.

## **7.2. Característica hidrogeológica, climática y fisicoquímicas del área de vuelco de ADFs**

La disposición actual de las ADFs generadas por las industrias fundidoras de la localidad de Isidro Casanova se efectúa en caminos y áreas inundables por medio de vehículos de la Municipalidad de la Matanza. Por lo cual no se realiza la disposición en una zona determinada fija.

Debido al tipo de disposición efectuada, para el presente estudio se realizó un análisis de las características hidrogeológicas de la Localidad sin considerar un lugar específico ya que se desconoce el lugar utilizado por el municipio para disponerlas. Se tomó la información secundaria de muestreos realizados por el organismo de control ambiental ACUMAR así como investigaciones de la caracterización del acuífero Pampeano realizadas por Auge *et al.*, (2002) y (2004). De esta manera, se ha relevado la información de las características fisicoquímicas del pozo de muestra 026F bajo jurisdicción del ACUMAR, ya que este presentaba mayor y más actualizada información de las características del acuífero Pampeano (Figura 20).



**Figura 20.** Limites jurisdiccionales de la Localidad de Isidro Casanova en donde se disponen las ADFs con los pozos de muestreo del ACUMAR y la ubicación de la empresa IAB (Tomada y modificada de Google Maps).

### 7.2.1. Hidrogeología

El nivel estático del acuífero Pampeano en la zona de estudio se encuentra alrededor de 3 o 4 metros aunque a veces se encuentra a menos de 1 metro. Esta variación del nivel estático es debida a períodos más o menos húmedos. Su proximidad con la superficie lo expone a la contaminación, especialmente a la de pozos negros, a los que se vierten las aguas servidas cuando se carece de redes cloacales (Areauz *et al.*, 2002). El Pampeano posee un gradiente hidráulico de 0,0024 y una conductividad hidráulica media de 1825 metros por año (Auge *et al.*, 2004).

El acuífero semiconfinado Puelche, localizado por debajo del Acuífero Pampeano se encuentra a una profundidad promedio de 30 metros, recibiendo como recarga los aportes del Pampeano y consecuentemente poniéndolo en peligro de contaminación (Auge *et al.*, 2004).

Se han tomado como referencia alguna de las características fisicoquímicas del acuífero libre para brindar al software IWEM datos de las variables propias de la zona de disposición de ADFs. Dicha información ha sido relevada a través de los análisis del pozo de inspección 026F por parte de ACUMAR en Oct-Nov de 2014 a una profundidad estática de 4,90 m (Tabla 6).

**Tabla 6.** Características Fisicoquímicas de la napa a través del pozo 026F de ACUMAR.

<b>Medida</b>	<b>Op</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Conductividad Eléctrica (CE)	=	1634	μS/cm
pH	=	6,93	upH
Temperatura (T)	=	21,09	°C
Dureza Total (TH)	=	758	mg/l como CaCO <sub>3</sub>
Turbidez	=	0,2	UTN
Alcalinidad	=	492	mg/l como CaCO <sub>3</sub>
Potasio (K <sup>+</sup> )	=	25	mg/l
Sodio (Na <sup>+</sup> )	=	50	mg/l
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	=	200	mg/l
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	=	63.5	mg/l
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	=	165	mg/l
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	=	79	mg/l
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	=	599,75	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	=	93,03	mg/l
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	=	0,09	mg/l
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	=	0,49	mg/l
Oxígeno disuelto	=	2,4	mg/l
Sulfuros	<	0,015	mg/l
Sólidos disueltos	=	1110	mg/l
Nitrógeno Total	=	21	mg/l
Fósforo-ortofosfato (P-PO <sub>4</sub> )	=	0,03	mg/l
Sustancias Fenólicas	<	0,003	mg/l

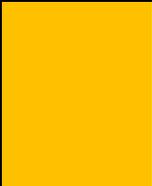
En este contexto, es posible observar que según los niveles guía de la Ley Nacional 24.051 y el Decreto 831 y el Código Alimentario Argentino algunos de los elementos que componen el agua del Pampeano se encuentran sobre los valores máximos permitidos para agua de consumo, entre estos encontramos los fenoles totales (0,001 mg/l) y Nitratos (45 mg/l) (CONAL, 1971). Por consiguiente no es factible emplear el agua del Pampeano sin un tratamiento previo. Según la UNM (2008), los altos niveles de Nitratos en esta localidad se encuentran dados a la alta tasa de crecimiento poblacional que ha tenido esta zona, suman con el agravante de la falta de planificación urbana que ha generado la contaminación de las aguas subterráneas por la falta de un sistema de alcantarillado adecuado y la mala gestión de los pozos sépticos permitiendo la migración de aguas negras al acuífero (Areauz, 2002).

### 7.2.2. Topografía y suelo

Esta zona presenta un relieve del suelo tipo planicie o terraza baja, llega hasta 5 m de altura sobre el nivel del mar (Areauz *et al*, 2002).

La composición edafológica según los muestreos realizados por el ACUMAR describe un suelo cuya proporción se encuentra en mayor medida compuesta por limo arcilloso y arenoso, teniendo una franja altamente impermeable entre los 2 a 18 metros de profundidad (Tabla 7).

**Tabla 7.** Perfil edafológico de la localidad de Isidro Casanova tomado de ACUMAR.

Perfil Edafológico		Descripción
2 Mts		Limo levemente arcilloso, castaño oscuro
14 Mts		Limo arcilloso, castaño rojizo, Con concentraciones de carbonato
18 Mts		Limo arcillo arenoso, castaño rojizo, con nódulos de carbonatos, Presencia de óxidos.
20 Mts		Limo arenoso, castaño oscuro, Abundante tosca

### **7.2.3. Clima**

Tiene un clima templado húmedo con temperaturas medias anuales que oscilan alrededor de los 17°C, con 23 a 24°C de temperatura media en verano y 9°C de temperatura media en invierno (Areauz *et al.*, 2002).

No se registran grandes amplitudes térmicas diarias ni anuales, principalmente por el efecto del océano. La humedad relativa media anual es de 75%. La precipitación media anual se encuentra entre 800 y 1000 mm y casi el 40% se producen entre los meses de Diciembre y Marzo (Areauz *et al.*, 2002).

Los vientos soplan durante todo el año con intensidad media y alta predominando los del sector Norte y Noreste, cálidos y húmedos. Le siguen en importancia los del Sudeste (Sudestada) fresco y húmedos y los del Sudoeste (pampero) fríos y secos, a veces violentos.

A causa de la influencia moderada del Rio de la Plata, las heladas no son frecuentes (Areauz *et al.*, 2002).

### **7.3. Análisis de contaminantes extraídos por lixiviación a las ADFs.**

Los resultados del análisis de laboratorio en el lixiviado extraído a través del método EPA 1310 B se utilizan para determinar la peligrosidad o no de un material en base a límites máximos. Estos se encuentran establecidos en el Anexo IV y VI del Decreto 831/93 de la Ley Nacional 24.051. Los límites se obtienen al aplicar el criterio de multiplicar por 100 los límites recomendados para agua potable (Miguel, 2014). En la Tabla 8 se muestran las concentraciones para las cuatro muestras analizadas en donde M1 corresponde a arenas empleadas para la fabricación de noyos con agregado de resina tipo Shell moulding (SHL), M2 arena verde empleada en la fabricación de moldes de fundición, M3 arenas residuales tipo SHL de la fabricación de noyos y M4 arenas residuales finales que son dispuestas por la empresa, miscelánea de residuos M2 y M3

**Tabla 8.**Caracterización de la composición química de las ADFs a través de análisis de contaminantes por lixiviación. Ley de Residuos Peligrosos (LRP).

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>LRP</b>
Plata	mg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	5
Arsénico	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1
Bario	mg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	100
Cadmio	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cobre	mg/l	<0,10	<0,10	0,26	<0,10	100
Cromo	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	5
Mercurio	mg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,1
Níquel	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,34
Plomo	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1
Selenio	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1
Zinc	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	500
Compuestos Fenólicos	mg/l	58,7	0,18	39,0	1,40	0,1
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Totales	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,28

### 7.3.1. Contaminantes metálicos y metaloides

Las arenas descartadas de fundición pueden presentar metales y metaloides, que dependiendo de la concentración, puede tener un efecto nocivo para la salud y el bienestar de ser humano, animales, plantas y ecosistemas en general. Esto está dado por que las principales fuentes de contaminantes metálicos provienen de las actividades mineras, fundición y refinado, puesto que durante sus operaciones se liberan metales al ambiente a través de emisiones, efluentes y residuos (Orozco Barrenextea *et al.*, 2003).

Es por esto que como parte de la responsabilidad ambiental empresarial y en respuesta a los requisitos legales, es importante analizar las concentraciones de los componentes metálicos y metaloides de los residuos generados con el fin de verificar que los mismos no impliquen un riesgo para la contaminación, especialmente en los medios de disposición final con énfasis de aguas subterráneas. Esto se encuentra dado ya que estos compuestos no se degradan, sino que persisten en el ambiente de diferentes formas (Miguel, 2014).

De acuerdo a los resultados de laboratorio es posible evidenciar que el total de las muestras analizadas se encuentran por debajo de los límites de detección del método y por debajo de los niveles de regulación de compuestos metálicos y metaloides analizados.

Sólo se destaca la concentración de Cobre en la muestra M3 fue de 0,26 mg/l el cual si bien se encuentra muy por debajo del límite establecido por la Ley de Residuos Peligrosos difiere de los resultados reportados para este elemento en las restantes muestras analizadas.

De acuerdo a los resultados de metales y metaloides a través de ensayos de lixiviación, el 100% las muestras deberían ser consideradas como residuos no peligrosos de acuerdo a los límites establecidos por la Ley de Residuos Peligrosos 24.051.

### **7.3.2. Compuestos fenólicos**

Los fenoles son compuestos empleados en la industria de la fundición en la fabricación de moldes y nuyos debido a que al mezclarlos con agua en una concentración del 10% genera un subproducto denominado “Phenolum liquefactum”, este produce un entrelazado complejo entre los granos de arena silíceas que brindan al molde una mejor resistencia y permeabilidad ante la liberación de gases (Gardziela, 1999).

Si bien los fenoles pertenecen a la familia de los hidrocarburos aromáticos con un grupo oxidrilo unido directamente al anillo bencénico, cuando este es liberado en el ambiente tiene un tiempo de degradación relativamente bajo (Aguan 55 horas) o (3 a 552 horas) (CEPA, 1999 tomado de Miguel, 2014). Por esta razón, así como las altas concentraciones con las cuales se debe exponer una persona durante su vida la legislación de algunos países consideran a dicho compuesto como un elemento de baja toxicidad, regulando niveles de concentración máximos para agua de bebida para prevenir efectos en la salud humana (Dungan, 2012).

En Argentina el límite establecido para compuestos fenólicos en la Ley de Residuos Peligrosos en lixiviados para considerar a un residuo como peligroso es de 0,1 mg/l,

mientras que en el Código Alimentario Argentino no se cuenta con alguna regulación definida para el consumo de agua de bebida con compuestos fenólicos (CONAL, 1971). Por lo tanto se toma como valor referencial el establecido en la Tabla 1, Anexo II de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos, la cual fija como límite para agua de bebida 0,002 mg/l, este valor fue tomado de alguna Norma de Obras Sanitarias de la Nación (OSN). Miguel 2014, destaca que el límite legal de compuestos fenoles en la legislación Argentina limita la gestión de ADF y otros residuos.

Teniendo en cuenta el valor establecido la Ley de Residuos Peligrosos para concentraciones en lixiviados de compuestos fenólicos de 0,1 mg/l, se evidencia que los valores detectados en todas la muestras superan ampliamente el límite establecido, encontrándose la mayor concentración de fenoles en la arena revestida (M1) previo a su utilización dentro del proceso productivo en la fabricación de noyos con un valor de 58,7 mg/l. Si bien la posibilidad de generar residuos con estas concentraciones es poco probable puesto que esta muestra corresponde a la materia prima empleada dentro del proceso y no a un residuo, se realizó este análisis con el fin de tomar un valor referencial de la concentración máxima de compuestos fenólicos que se puede llegar a presentar durante el proceso de fundición de IAB o cuando los noyos deben descartarse por roturas o fallas en su elaboración, este resultado es coherente con los planteos de Miguel, 2014, donde advierte que las ADF de sistema Shell Moulding descartadas sin utilizarse en el proceso de fundición poseen características de residuos peligrosos.

Por otra parte, se advierte que las arenas verdes (M2) empleadas en la fabricación de moldes de fundición tienen una menor concentración de compuestos fenólicos (0,18 mg/l). Esto se debe a que el sistema de reutilización de arenas verdes se mezclan algunos residuos de noyos fabricados con arena revestida cuya concentración de fenol como se mencionó anteriormente es elevada. Si bien durante el proceso de enfriamiento del metal fundido y recuperación de arena la concentración de fenol presente en la arena tipo Shell Moulding va disminuyendo debido a la evaporación del mismo, los resultados en las muestras de IAB evidencian que no se logra eliminar totalmente la carga de compuestos fenólicos de la arena.

Los resultados de la muestra M3 correspondiente a los residuos de noyos fabricados a partir de arena revestida, advierten una disminución de la concentración de compuestos fenólicos en un 33,5 % con relación a los resultados de la muestra M1 de arena revestida, con una concentración de 39 mg/l. Lo cual confirma una pérdida de fenol al someterlo a altas temperaturas.

En la muestra M4, se evidenció que la concentración de compuestos fenólicos supera el valor permitido por la actual Ley de Residuos peligrosos con 1,40 mg/l, este valor representa la mezcla de los descartes de la concentración de las muestras M2 y M3 con porcentajes teóricos de 96,75 y 3,15%, respectivamente.

De esta manera de acuerdo a lo establecido por la Ley las ADFs generadas por la empresa deben disponerse como un residuo especial no permitiendo tampoco su inclusión dentro de otro proceso productivo fuera de las instalaciones directamente, aunque sí podría efectuarse siguiendo los lineamientos de la Resolución 228/98 del OPDS (1997).

### **7.3.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos**

La combustión de hidrocarburos a más de 500 °C y con defecto de oxígeno crea las condiciones propicias para generar hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), por lo cual la arenas descartadas que utilizan como aglomerantes productos basados en hidrocarburos podrían presentar concentraciones de HAPs (Orozco Barrenextea, 2003). La relevancia de los HPA a nivel sanitario se debe a que algunos han sido reconocidos como carcinogénicos, así mismo presentan una gran persistencia y bioacumulación en organismos gracias a su alta afinidad a las grasas (Orozco Barrenextea, 2003).

Si bien los HAPs presentan una rápida degradación (menos de una hora) en presencia de agua, expuestos a luz solar y en presencia de oxígeno, cuando se encuentran en sedimento acuoso pueden tardar entre 3 a 300 semanas, incrementándose su tiempo de degradación con el tamaño molecular del hidrocarburo.

La actual Ley de Residuos Peligrosos establece en el anexo VI del decreto 831/93 que la concentración de HAPs total en lixiviados no debe superar los 0,28 µg/l mientras que para agua de bebida no debe superar los 0,03 µg/l (Tabla 1, anexo II, Dto. 831/93 Ley 24.051 de la SAyDS). Teniendo en cuenta esto, es posible evidenciar que los valores encontrados en las cuatro muestras analizadas (<0.2 µg/l) no superan el valor establecido por la mencionada Ley ya que las concentraciones halladas se encuentran por debajo del límite de detección del método. Actualmente los únicos HAPs regulados en el CAA es el Benzo(a) pireno con un límite 0,01 µg/l y el Fluoranteno con un límite de 190 µg/l (CONAL, 1971).

#### **7.4. Modelo de evaluación de gestión de residuos industriales mediante el programa IWEM.**

Debido a que la actual disposición de las ADFs no es realizada en un área determinada y no se efectúa bajo condiciones controladas (rellenos sanitarios o de seguridad) que impidan la migración de contaminantes a las aguas subterráneas, para el presente estudio se estableció un área hipotética de disposición final tomando como referencia las condiciones hidrogeológicas de la zona aledaña a la fuente de generación de ADFs. En la Tabla 9 se presentan las condiciones hidrogeológicas y de disposición final de ADF utilizadas como insumos en el Programa IWEM.

**Tabla 9.** Variables hidrogeológicas y químicas del área hipotética establecida para la disposición final de las ADFs.

<b>Parámetros del relleno</b>	
Material dispuesto (m <sup>2</sup> )	10.000
Altura del relleno (m)	1
Profundidad del relleno bajo subsuelo (m)	0 (en superficie)
<b>Parámetros subsuperficiales</b>	
pH de agua subterránea	6,93 (ACUMAR)
Profundidad del nivel freático (m)	4,90 (ACUMAR)
Gradiente hidráulico (m/km)	0,0024 (Auge <i>et al.</i> , 2004)
Conductividad hidráulica (m.año <sup>-1</sup> )	1825 (Auge <i>et al.</i> , 2004)
Espesor del acuífero (m)	25 (Auge <i>et al.</i> , 2004)
Tasa de Infiltración del suelo (mm/Año)	Recarga del Acuífero Pampeano de 156 mm/año (Auge <i>et al.</i> , 2002)
Suelo	Limo arenoso (ACUMAR)

Así mismo, se realizó el análisis de las concentraciones finales que se podrían llegar a presentar en el agua subterránea del acuífero pampeano a diferentes distancias, 10, 50, 100, 500 y 1000 m desde el sitio de disposición de ADF. Tomando como factor de análisis la concentración de compuestos fenólicos (como fenol) de los análisis de lixiviación de laboratorio, puesto que este fue el único compuesto que mostró una concentración superior a los niveles de regulación.

Las concentraciones en lixiviado se corrieron en primera instancia para un relleno sin protección, es decir sin establecer ningún factor de protección que impida la migración de contaminantes más que el suelo mismo. No obstante, en caso que la concentración resultante fuese mayor al límite establecido en la Tabla 1, Anexo II de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos, para agua de bebida 0,002 mg/l, se procedió a correr el modelo considerando un relleno con protección simple, es decir con un recubrimiento superficial de arcilla a manera de barrera de protección. Si el valor obtenido superara estas nuevas condiciones se realizó una nueva corrida del sistema, para un relleno de barrera compuesta, es decir un área con protección de geomembrana y barrera de arcilla, condiciones de relleno sanitario.

En la Tabla 10, se exponen los resultados para las diferentes distancias sobre la superficie del suelo para las cuatro muestras consideradas dentro del proceso productivo de la empresa, tomando como valor base la concentración de Fenol en lixiviado obtenida a través de los análisis del laboratorio. Dichos resultados evidencian que si se toma el valor establecido por el Anexo II de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos, la cual fija como límite para agua de bebida 0,002 mg/l, para ninguno de los casos sería factible realizar la disposición final sin un sistema de barrera compuesta que impida la migración del fenol al acuífero libre.

**Tabla 10.** Concentraciones obtenidas a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para las cuatro muestras analizadas a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia.

<b>Sin Barrera</b>						
<b>Muestra</b>	<b>Concentración de Fenol en Lixiviado (mg/l)</b>	<b>Distancia</b>				
		<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
		mg/l				
<b>Sin Protección</b>						
M1	58.7	32,88	23,86	19,44	7,501	4,162
M2	0.18	0,1063	0,0732	0,0596	0,023	0,0128
M3	39.0	23,25	15,85	12,92	4,984	2,765
M4	1.4	0,8156	0,5691	0,4636	0,1789	0,0993
<b>Barrera Simple</b>						
M1	58.7	10,2	10,33	9,013	3,471	1,865
M2	0.18	0,0315	0,0317	0,0276	0,0106	0,0057
M3	39.0	6,47	6,861	5,988	2,306	1,242
M4	1.4	0,2361	0,2463	0,2149	0,0828	0,0445
<b>Barrera Compuesta</b>						
M1	58.7	0,0181	0,016	0,0046	0,0061	0,0041
M2	0.18	0,00056	0,0005	0,000141	0,000185	0,000125
M3	39.0	0,0124	0,011	0,0031	0,004	0,0027
M4	1.4	0,000436	0,000391	0,0001	0,0001	0,0000972

Se evidencia que a medida que el fenol migra a través del medio saturado, su concentración se ve reducida, puesto a que se ve sometido a procesos de dispersión y dilución. Tanto la M1 y M3, las cuales contenían la mayor concentración de fenol (58.7 y 39 mg/l respectivamente), en ninguno de los casos (sin protección, barrera simple y barrera compuesta) la concentración del fenol se encuentra por debajo del límite para agua de bebida establecido por la Ley, ni siquiera al ser evaluado a 1000 m de distancia con un sistema de protección de doble membrana en la cual registra una concentración de 0,0041 mg/l, por lo cual la disposición a realizar tanto M1 y M3 deberá ser a través de relleno de seguridad.

Por otra parte, los resultados para un sistema con barrera simple, advierten que ninguna de las muestras se encontró por debajo del límite establecido por la Ley. Sólo se obtuvo concentraciones por debajo del límite de ley para las muestras M2 y M4 empleando un sistema de doble barrera.

De esta manera, se procedió a analizar que concentración de Fenol se podría llegar a presentar a través de las diferentes distancias contempladas teniendo en cuenta el límite establecido por la ley. Encontrándose de esta manera que si consideramos que el valor de agua de bebida definido es de 0,002 mg/l no sería posible disponerse un residuo con una concentración de 0,1 mg/l de fenol en Lixiviado sin un sistema de protección de barrera compuesta, es decir que podría enviarse a un relleno sanitario pero no dispuesto directamente en suelo o con una protección simple (Tabla 11).

**Tabla 11.** Concentraciones de Fenol a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para un residuo con una concentración de 0,1 mg/l en lixiviado a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia para las condiciones hidrogeológicas de Isidro Casanova.

Concentración de Fenol (mg/l)	Distancia	10	50	100	500	1000
	Sin Barrera		0,056	0,0407	0,0332	0,0128
Barrera Simple		0,0166	0,0176	0,0154	0,0059	0,0032
Barrera Compuesta		0,000319	0,000279	0,000078	0,0000103	0,00000695

## **8. ANALISIS DE RESULTADOS**

### **8.1. Lineamientos para la gestión integral de arenas descartadas de fundición**

Como se ha mencionado, en la industria de la fundición en Argentina la mayor preocupación en materia ambiental es la disposición de las ADFs, ya que en la mayoría de los casos las mismas son dispuestas como material de relleno sin conocerse las implicancias ambientales de esta acción. En menor medida algunas empresas disponen las ADFs a través de rellenos sanitarios y de seguridad con importantes costos debido a los volúmenes generados. Es posible analizar que esta situación se encuentra muy lejos de convertirse en un sistema de gestión sustentable económica, ambiental y socialmente. Los efectos de la falta de conocimiento sobre las características de los ADFs generan no solamente la inadecuada gestión en su disposición final sino además, la necesidad de consumir más recursos naturales para mantener el modelo productivo de las industrias bajo la necesidad de satisfacer las demandas de la sociedad.

A continuación, se exponen los lineamientos de gestión que surgen a través de esta investigación con el fin de no solo modificar el proceso de gestión para el descarte de ADFs en IAB para el cumplimiento de la legislación, sino de visualizar esta problemática a través de una gestión sustentable tanto para la empresa, los organismos de control, la sociedad y el ambiente.

### **8.2. Alternativas de valorización de arenas descartadas de fundición**

La prevención y la minimización de la generación de residuos peligrosos constituyen la primera prioridad en todo sistema de gestión de residuos. En el artículo 17 de la Ley 24.051 se establece la obligación de los generadores de adoptar medidas tendientes a disminuir la cantidad de residuos peligrosos que generen. Asimismo, el Decreto 831/93, reglamentario de la Ley 24.051, en su: Artículo 17° indica : Juntamente con la inscripción en el Registro de Generadores de Residuos Peligrosos, el generador deberá presentar un plan de disminución progresiva de generación de sus residuos, en tanto dicho plan sea factible y técnicamente razonable para un manejo ambientalmente racional de los mismos.

Además, en dicho plan deberán figurar las alternativas tecnológicas en estudio y su influencia sobre la futura generación de residuos peligrosos.

A los fines de promover la valorización de los residuos y la utilización de materiales recuperados a partir de residuos con el objeto de reducir el uso de recursos y preservar los recursos naturales, en el marco legal vigente en materia de residuos peligrosos o especiales, resulta necesario establecer mecanismos de recuperación o valoración de dichos residuos con el fin de no solo disminuir los costos de tratamiento con sus implicancias ambientales, disminuir la sobre explotación de recursos, aumentar la vida útil de los rellenos de seguridad y evitar las malas prácticas de eliminación de residuos fuera de los requerimientos legales.

Como ya fue mencionado anteriormente el desafío primordial es la información generada a través de análisis realizados por los generadores y transmitidos a los organismos de control con el fin de buscar políticas claras e integradas en pro a la recuperación de las ADFs y considerarlas no como un problema para el generador y la autoridad de control sino como un insumo que puede ser empleado de manera factible en la fabricación de otros productos.

Surge aquí la necesidad de que la autoridad de aplicación se comprometa y promueva estudios e investigaciones de diferentes corrientes de residuos y así generar mecanismos que contribuyan a la gestión integral de residuos de origen industrial, atendiendo a la dinámica y particularidades de cada sector industrial y a sus problemáticas específicas.

No obstante, la mayoría de empresas de fundición en Argentina emplean mecanismos de recuperación de ADF a través de su reutilización interna empleando para ello tratamientos físicos, químicos o térmicos para que pueda reutilizarse sin que disminuyan de manera importante sus propiedades útiles originales para la aplicación de que se trate. El objetivo de la recuperación es eliminar el aglutinado residual y demás contaminantes de los granos de arena, a tal punto que este material pueda ser reutilizado en el siguiente ciclo de fabricación sin sacrificar la calidad del producto (Leiden, 1996).

Los principales mecanismos de recuperación incluyen el frotamiento, la recuperación húmeda y la recuperación húmeda térmica. Evidenciando de esta manera una mayor eficiencia en la recuperación de ADFs a través de la aplicación de tecnologías combinadas como la separación magnética, trituración, flotamiento, tamizado, recuperación térmica, húmeda, separador de finos y secado entre otros (Elizalde, *et al.* 2010) a continuación se muestran en la Tabla 12 las principales tecnologías empleadas en el proceso de recuperación de arenas de fundición.

**Tabla 12.** Tecnologías para la recuperación y tratamiento de las ADFs.

Tecnología de recuperación	Características
Frotamiento	Exponer la arena al frotamiento para elimina el aglutinante, la limitante es que no se elimina de las grietas del grano de arena.
Recuperación Húmeda	Disolver los aglomerantes en agua (aquellos solubles). La desventaja es que se genera un barro y un efluente líquido que debe tratarse. La arena debe secarse luego del tratamiento.
Recuperación térmica	Exponer al grano de arena a altas temperaturas con el propósito de eliminar el aglutinante de las arenas de depresión (siempre que pueda oxidarse térmicamente).
Combinación de tecnologías	Una mayor eficiencia en la recuperación de ADFs demanda la aplicación de tecnologías combinadas como la separación magnética, trituración, flotamiento, tamizado, recuperación térmica, húmeda, separador de finos y secado entre otros.

Tomada de: (Elizalde *et al.*, 2010).

Autores como Zanetti y Fiore (2002) establecen que los métodos húmedos obtienen mejor calidad de la arena saliente pero con un costo mayor que el método seco. Este último es conveniente en aquellos países donde el costo de la arena en el mercado es bajo.

Por otra parte, en Argentina se han concretado varias investigaciones sobre caracterización y valorización de ADF en hormigones (Sota *et al.* 2007), cemento portland (Elizalde *et al.*, 2010), mezclas asfálticas en caliente (Marcozzi *et al.*, 2010), cerámica (Quaranta *et al.* 2009) y para uso de suelo vial (Appolloni *et al.*, 2010). Sin embargo, no existe en Argentina una reglamentación que favorezca el uso beneficioso de ADFs.

La Cámara de Industriales Fundidores de la República Argentina (CIFRA, 2013), institución que nuclea a fundidores de todo el país, efectuó en el año 2011 un Convenio con el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA, UNCPBA), Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC), Laboratorio de Tecnología Vial (LEMaC-UTN) y Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (LIS-UNLP) en pos de tender al uso beneficioso de ADFs en hormigones y mezclas asfálticas en caliente. Los resultados de este trabajo fueron alentadores en pos de la valorización del residuo como materia prima en estos procesos productivos (Miguel, 2014).

De la misma manera, investigaciones como las realizadas por Elizalde *et al.* (2010) y Marcozzi *et al.*, (2010), han arrojado resultados que demuestran la factibilidad técnica y ambiental de la incorporación de las ADFs en la fabricación del cemento y mezclas asfálticas en caliente respectivamente, dado que presentan una similitud en cuanto a su composición mineralógica con el cuarzo y su resistencia como producto terminado.

Es importante destacar que previamente a valorizar los ADFs como materia prima en la fabricación de otros productos, las industrias de fundición deben tender a la minimización, recuperación y reutilización dentro del mismo proceso, quedando la valorización como alternativa final frente a la disposición en vertederos controlados.

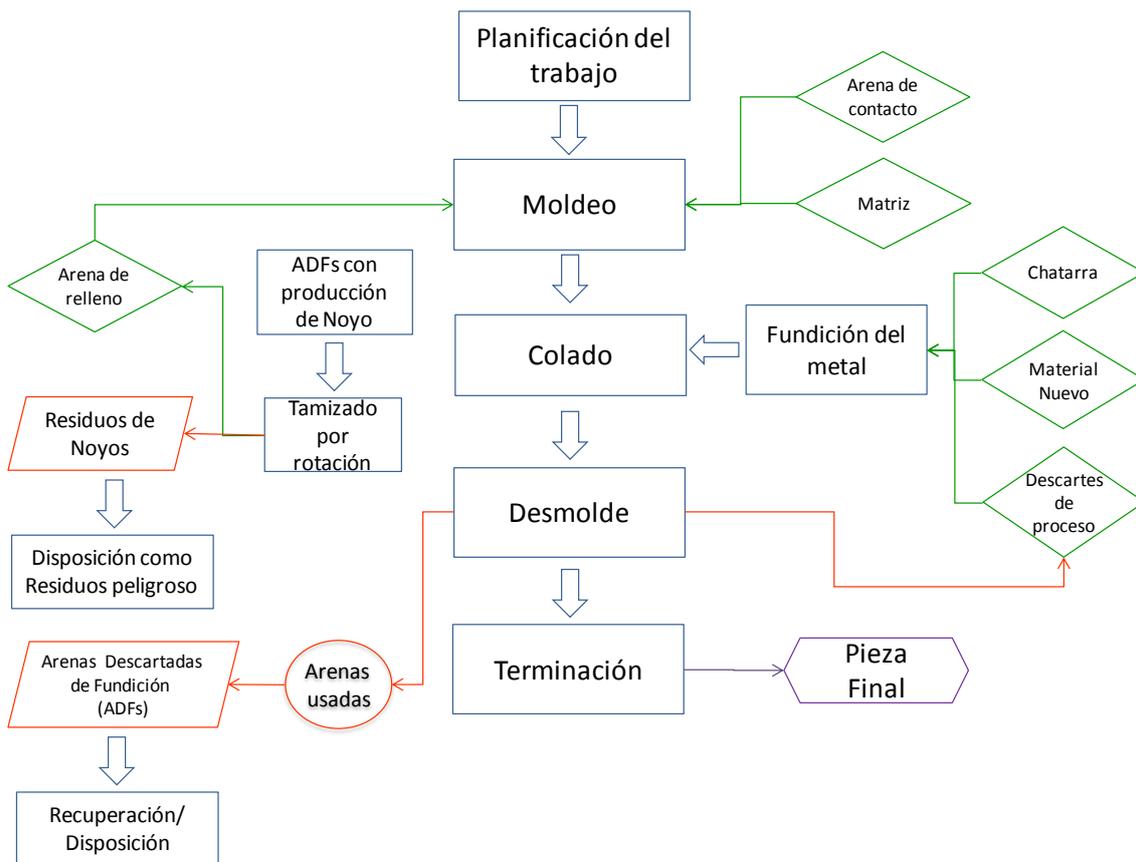
### **8.3. Modificación del proceso de descarte de ADFs en IAB**

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis de lixiviación de las cuatro muestras tomadas a través del sistema productivo de la empresa, se evidenció que en ninguno de los casos se encontraron valores por debajo del límite establecido por la Ley 24051 (0,1

mg/l), por lo cual se analizó la posibilidad de realizar una modificación en la segregación de ADFs con el fin de reducir las concentraciones de Fenol descartadas y verificar la posibilidad que dichos valores se encontraran dentro de los límites permitidos legalmente.

Como fue mencionado en el apartado 7.1.2.5, la empresa realiza la reutilización de la arena proveniente de descartes de noyos y arena de contacto o relleno para generar nueva materia prima (arena verde) empleada en el proceso de fabricación de moldes de fundición. En vista de los resultados se evidencia que el compuesto aportante de compuestos fenólicos dentro del proceso de producción es la arena revestida la cual al desecharse directamente como parte de las ADFs genera que se excedan los límites permitidos.

Es de esta manera, que se propone como parte del control operativo de la empresa para la gestión de las ADFs, que previo a la disposición de ADFs se realicen dos acciones dentro del proceso productivo. En primer lugar se deberán segregar de la corriente de residuos que irán a disposición los restos de noyos, ya que estos son los principales elementos de aporte de compuestos fenólicos y por ende deberán ser dispuestos como un residuo peligroso como lo establece la Ley. Lo anteriormente dicho puede ser llevado a cabo a través de tamices que permitan la separación residuos de mayor tamaño de las ADFs. Por otro lado, previo al descarte de arena se deberá realizar una tanda de producción sin uso de noyó con el fin de garantizar que los residuos que finalmente serán dispuestos tengan una menor concentración de compuestos fenólicos y por ende su concentración no sobrepase los límites permitidos según la Ley 24051 (Figura 21).



**Figura 21.** Proceso de descarte de ADFs En IAB.

Para corroborar la eficiencia de esta propuesta de gestión se efectuó una nueva toma de muestra (M5), ensayo de lixiviación y análisis de compuestos fenólicos totales. El resultado del análisis en el lixiviado obtenidos de la ADF M5 de compuestos fenólicos fue de 0,05 mg/l, el cual es inferior al límite permitido por la Ley, evidenciando no solo una mejora de la gestión de la empresa para reducir las concentraciones de dicho contaminante sino un dato relevante para otras industrias del mismo rubro con un sistema productivo similar.

No obstante, se realizó el análisis de dicha concentración de Fenol a través del sistema IWEM con el fin de verificar la implicancia ambiental que podría llegar a tener este residuo si consideramos un límite para agua de bebida de 0,002 mg/l como lo establece el Anexo II de la Ley 24051 de Residuos Peligrosos.

Los resultados evidencian que aun cuando las ADFs generadas se encuentran en una concentración muy por debajo del límite establecido por la ley de residuos peligrosos para compuestos fenólicos (0,1 mg/l), no es posible disponer este tipo de residuos sin un sistema de barrera que evite en agua subterránea concentraciones de compuestos fenólicos por encima de los límites establecidos establecidas por la Ley (Tabla 13).

**Tabla 13.** Concentraciones de Fenol obtenidas a partir de la simulación realizada por el programa IWEM para las ADFs con una concentración de 0,05 mg/l en lixiviado a 10, 50, 100, 500 y 1000 m de distancia.

<b>Concentración de Fenol (0,05 mg/l)</b>	<b>Distancia</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
	<b>Sin Barrera</b>	0.028	0.0203	0.0166	0.0064	0.0035
	<b>Barrera Simple</b>	0.0083	0.0088	0.0077	0.003	0.0016
	<b>Barrera Compuesta</b>	0.000016	0.000014	0.0000392	0.0000517	0.0000348

Es posible analizar que este resultado aporta al análisis expuesto por Miguel (2014), en su trabajo doctoral, sobre la necesidad de analizar y rever el límite establecido por la tabla 1 Anexo II de la Ley de Residuos Peligrosos para agua de consumo humano, ya que el Código Alimentario Argentino (CAA) y la Organización Mundial para la Salud (OMS) no establecen límites para el consumo de agua con fenol. Además, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2008) establece que la presencia de concentraciones de este compuesto en agua de bebida por debajo de 2 mg/l no causa efecto en la salud en caso de ser consumida de por vida (ATSDR, 2008). Tomando como referencia esta información, no solo para el caso de ADFs con una concentración de 0,05 mg/l como fue el obtenido a través del cambio de la gestión de generación de residuos por parte de la empresa, sino para la muestra M2 de arena verde (0,18 mg/l) y la muestra M4 de ADFs descartadas con rezagos de noyos (1,4 mg/l), podría ser factible la disposición de dichos residuos sin requerir algún tipo de barrera de protección ya que su posible afectación a acuífero Pampeano de la zona de estudio sería inferior a lo recomendado por la ATSDR (2008).

#### **8.4. Modelo de gestión propuesto para IAB**

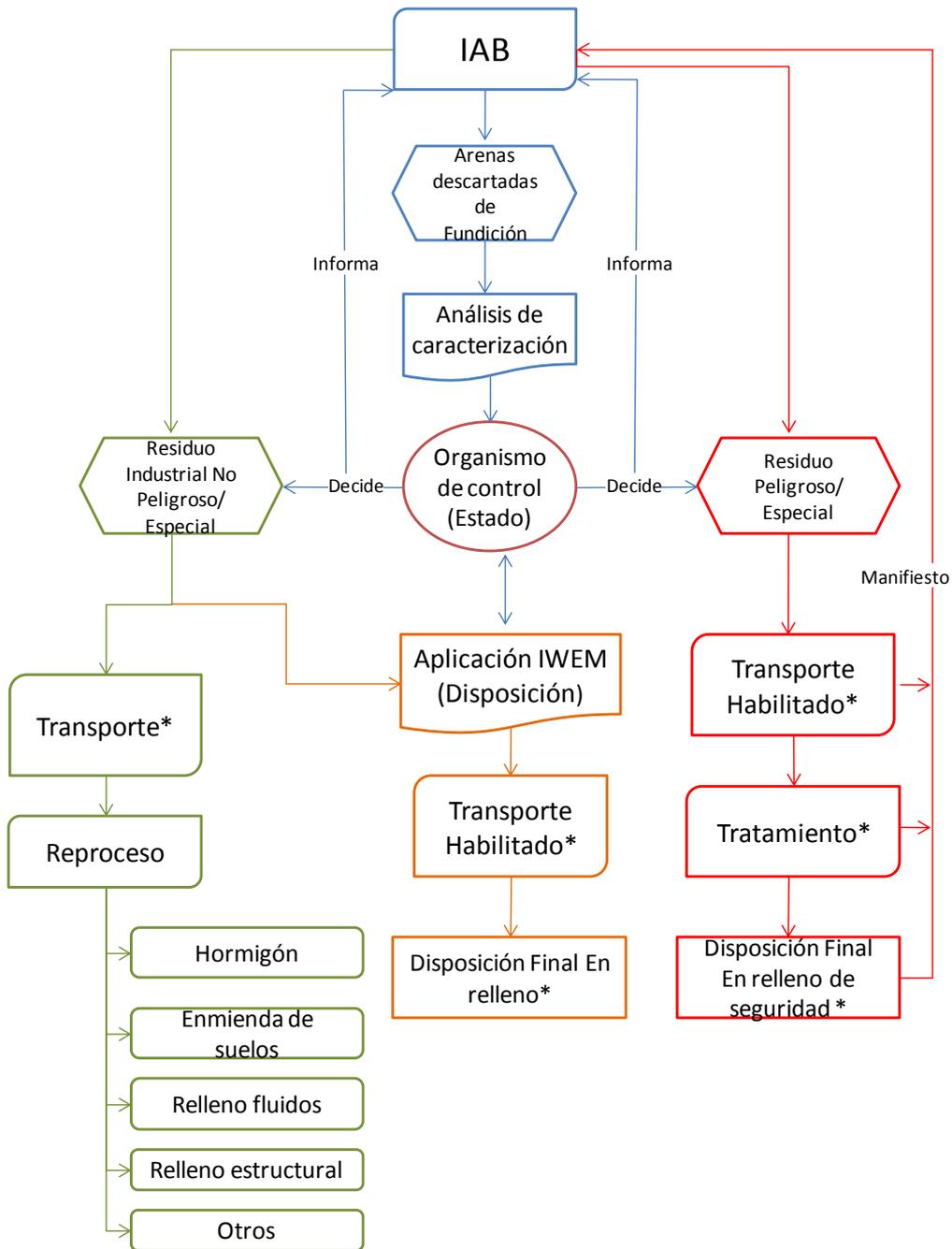
En países como Estados Unidos y Brasil han avanzado en el desarrollo de investigaciones que les han permitido generar reglamentaciones específicas para la caracterización, uso y disposición final de las ADFs. En Estados Unidos por ejemplo la USEPA ha generado instancias con el fin de modelo de gestión de residuos en la industria de la fundición, permitiendo al fundidor obtener información con el fin de evidenciar la viabilidad de sus residuos como subproductos para otros procesos productivos sean propios o de terceros o comprender las implicaciones ambientales de los mismos en caso que estos no cumplan con las reglamentaciones establecidas con el fin de realizar una correcta disposición.

Miguel (2014), ha descrito el modelo de gestión establecido por la USEPA en el cual en primer lugar el fundidor necesita organizar su producción para separar las ADFs del resto de las corrientes de residuo y garantizar así la calidad del material. Luego, efectúa una caracterización química del material. A diferencia que en Argentina, en la mayoría de los Estados de E.E.U.U., es requisito que las empresas de fundición realicen periódicamente ensayos de lixiviación (TCLP) y la determinación de sustancias para demostrar si las ADFs poseen características de toxicidad, otros en cambio requieren además del ensayo TCLP analizar la concentración total de elementos (en matriz). Los resultados de las concentraciones de elementos detectadas son comparadas con los establecidos por la normatividad con el fin de determinar si dicho residuo es o no peligroso para el ambiente. Por consiguiente si las ADFs se consideran un residuo peligroso, deberá transportarse, tratarse y disponerse como tal utilizando un manifiesto, al igual que sucede en Argentina. Por otra parte si el residuo no es considerado como peligroso para el ambiente este puede utilizarse en diferentes aplicaciones las cuales deben ser autorizadas por los Estados a fin de viabilizar diferentes usos, entre estos se encuentra la fabricación de cemento portland, hormigones, mezclas asfálticas en caliente o bajo una exigencia más específica en usos de horticultura o relleno en terraplenes, donde el material no se encuentra encapsulado.

No obstante, en el caso de no ser posible la reutilización de las ADFs, la USEPA promueve el uso del programa IWEM a fin de determinar la modalidad de disposición final adecuada para no afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo y evitar el envío a rellenos sanitarios y gastos innecesarios para la empresa generadora (USEPA, 2009).

Es de esta manera que el presente trabajo expone un modelo de gestión para la disposición y reutilización de las arenas descartadas de fundición generadas por Industrias Águila Blanca S.A. (Figura 22), tomando como base el modelo establecido por la USEPA el cual fue descrito por Miguel (2014). Este modelo de gestión propone una mayor participación del organismo de control en su facultad de decisión sobre la disposición de las ADFs generadas por la empresa, a través de mecanismos informáticos para el análisis de disposición como el generado por la USEPA (IWEM), de la misma manera se propone un mayor involucramiento de la empresa en cuanto a la necesidad de analizar y reportar con una determinada frecuencia las características de sus residuos con el fin de aportar a la base informativa del organismo de control para que este determine los sitios de disposición adecuados en pro a prevenir afectaciones ambientales.

Por consiguiente, producto de los análisis de caracterización de las ADFs se propone que el organismo de control no solo regule el transporte de las ADFs consideradas como no peligrosas sino que tenga la facultad de analizar y designar el tipo de reproceso más indicado para la recuperación de las ADFs generadas por IAB dentro del modelo productivo y de esta manera generar una menor presión sobre los recursos naturales.



\* Procesos en los cuales debe ejercer control el organismo de regulación.

**Figura 22.** Modelo para la gestión de ADFs propuesto para IAB, a partir del establecido por la USEPA.

Fuente: Modificado y adaptado de Miguel, 2014.

### **8.5. Límites que limitan la gestión**

Existe controversia con respecto a la toxicidad del fenol a nivel mundial, evidenciando una diferencia entre las legislaciones de países más desarrollados con relación a los países en vía de desarrollo, siendo más estricta en estos últimos que en países como Canadá, Estados Unidos y Brasil.

La concentración de compuestos fenólicos totales en lixiviado que ha fijado Argentina a través de la Ley de Residuos Peligrosos para considerar a un residuo como peligroso como es de 0,1 mg/l, según Miguel *et al.* (2010), este valor fue definido tomando el mismo criterio establecido por la USEPA de multiplicar por 100 el valor de la concentración en agua de bebida reglamentado para su potabilidad. En Argentina este valor de referencia para agua de bebida se tomó de una Norma de Obras Sanitarias de la Nación (OSN) que establece un límite de 0,001 mg/l (Miguel, 2014). Dichas concentración establecida por OSN no corresponde con el nivel guía de calidad de agua de bebida con tratamiento convencional de 0,002 mg/l estipulado en la Tabla 1, Anexo II de la misma Ley de Residuos Peligrosos.

Por otra parte, en el Código Alimentario Argentino (CAA) los compuestos fenólicos no se encuentran regulados, por lo cual se toma como referencia el estricto valor establecido por la Ley de Residuos Peligrosos en todas las Provincias de Argentina (CONAL, 197 y SAyDS, 1993), en la Tabla 14 se indican los límites de concentración para los elementos y compuestos analizados en el presente trabajo.

Según el Acta de Protección Ambiental de Canadá se establece que debido a las concentraciones, condiciones y persistencia con las cuales el fenol permanece en el ambiente el mismo no puede considerarse como tóxico (CEPA, 1999).

Por otra parte, la USEPA considera al fenol junto al 2,4 dimetilfenol, 2-metilfenol, 3 y 4 metilfenol como probables causales de enfermedades en piel y sangre (Dungan, 2012). En algunos de los estados de E.E.U.U como Tennessee, Ohio y Wisconsin establecen que un residuo cuya concentración en lixiviado de compuestos fenólicos totales supera

los 15, 10,5 y 1,5 mg/l, respectivamente se considera como peligroso para la salud y el ambiente.

De la misma manera, en el Estado de Santa Catalina en Brasil, fue fijado como límite de compuestos fenólicos totales en lixiviado los 3,0 mg/l por el Consejo Estatal de Medio Ambiente, con el fin de viabilizar el uso del residuo como materia prima en otros procesos productivos.

**Tabla 14.** Límites de regulaciones comparativas para elementos y compuestos analizados en las muestras de ADFs.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LRP</b>	<b>CAA</b>	<b>CRF</b>	<b>BSC</b>
Plata	mg/l	5	0,05	5	-
Arsénico	mg/l	1	0,05	5	0,50
Bario	mg/l	100	-	100	10,00
Cadmio	mg/l	0,5	0,005	1	0,10
Cobre	mg/l	100	1	-	2,5
Cromo	mg/l	5	0,05	5	0,50
Mercurio	mg/l	0,1	0,001	0,2	0,02
Níquel	mg/l	1,34	0,02	-	2,0
Plomo	mg/l	1	0,05	5	-
Selenio	mg/l	1	0,01	1	0,10
Zinc	mg/l	500	5	-	25,0
Compuestos Fenólicos	mg/l	0,1	-	10,5	3,0
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Totales	µg/l	0,28	0,0028	-	-

LRPA, Ley de Residuos Peligrosos 24.051, 831/93 Anexo VI; CAA, Estándares de calidad de agua para consumo humano en Argentina, Código Alimentario Argentino, Ley 18.284, Capítulo XII, Artículo 982; CRF, Código de Regulaciones Federales (U.S.), Título 40, Part 261.24; BSC, CONSEMA (Consejo Estatal de Medio Ambiente - Santa Catarina, Brasil) 2013. Resolución CONSEMA Nro 26.

Por otra parte, la Agencia para Sustancias Tóxicas y Enfermedades Registradas (ATSDR, 2008) indica que la concentración máxima de fenol que no generaría efectos a la salud es de 6 mg/l durante 10 días en niños y que una exposición máxima de 2 mg/l de por vida tampoco generará efectos en la salud humana (ATSDR, 2008). De la misma manera, la Agencia del Sistema de Información de Riegos Integrados (IRIS por sus siglas en inglés) expresa como criterio de dosis de referencia para fenol de 0,30 mg kg

día. Si tomamos como peso promedio una persona adulta de 70 kg que bebe dos litros de agua, y que la ingesta de fenol es solo a través del agua de bebida, la concentración en agua sería de 10,5 mg/l (Miguel, 2014).

Es posible evidenciar que la actual legislación argentina es mucho más rigurosa en cuanto a la concentración de compuestos fenólicos totales con relación a la establecida por otros países que cuentan con una mayor información sobre las características de estos residuos, siendo la actual Ley en tres 1 y 2 órdenes de magnitud más restrictiva.

Por lo cual, el presente trabajo aporta información sobre las características de las ADFs y métodos de gestión de las mismas que puede ser tomada por los entes de control como un marco referencial para la toma de decisiones sobre las concentraciones establecidas como límites para algunos de los compuestos presentes en este tipo de residuos y el control sobre la disposición de las ADFs.

Por otro lado, a través del presente estudio se evidencia la necesidad de participación de las empresas en presentar información sobre las características de sus residuos con el fin de verificar si corresponden o no a elementos peligrosos para el ambiente y gestionar aplicaciones validadas a nivel internacional y nacional para su reutilización, como agregados en hormigón, mezclas asfálticas en caliente, suelos, cobertura en rellenos sanitarios, entre otros (Miguel *et al*, 2010).

## 9. CONCLUSIONES

A través del presente trabajo se ha evaluado la correcta disposición de arenas descartadas de fundición (ADF) de Industrias Águila Blanca S.A. (IAB) mediante el análisis del proceso productivo, la composición química de las ADF y su óptima disposición final al aplicar el Programa IWEM 2.0 desarrollado por la USEPA.

**Objetivo General: Evaluar la gestión de arenas descartadas de una fundición de hierro gris y proponer su adecuada disposición final al correr el programa IWEM 2.0.**

Como resultado del presente trabajo se ha ampliado el conocimiento acerca de las características de la composición de las ADFs generadas en la fundición de hierro gris y se han propuesto estrategias de mejora a nivel operativo con el fin de gestionar de manera adecuada la generación y la disposición final de las ADFs.

**Objetivo 1: Relevar el proceso productivo de una fundición de hierro gris con el fin de determinar las corrientes de arenas de fundición generadas.**

A través del presente trabajo se ha realizado un relevamiento del proceso productivo de IAB determinando las diversas corrientes de residuos generadas. Se evidenció que la mayor proporción de ADFs se encuentran compuestas de arena verde y residuos de noyos los cuales son empleados en piezas huecas en su interior. IAB genera en promedio unos 20 m<sup>2</sup> de ADFs al mes, a pesar que son reutilizadas dentro del proceso productivo a través de un sistema de tamizado y adición de agua y otros componentes que permiten darle a las arenas usadas la composición necesaria utilizarlas nuevamente en el proceso productivo.

**Objetivo 2: Analizar la concentración de elementos presentes en las principales corrientes de arenas de fundición por el método de lixiviación.**

Se analizaron las cuatro principales corrientes de ADFs dentro del proceso productivo evidenciando que en ninguno de los casos (arena revestida, arena verde, residuos de

noyos y ADFs) se han superado las concentraciones límites de regulación de metales (Plata, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc), metaloides (Arsénico y Selenio) e hidrocarburos aromáticos polinucleares totales en el marco de la Ley 24.0151 de Residuos Peligrosos, en efecto, la mayoría de las muestras presentaron concentración de analitos por debajo de los límites de detección del método. Sin embargo, las concentraciones de los compuestos fenólicos han superado los límites de regulación en todas las muestras estudiadas. Dicho resultado se debe al aporte de compuestos fenólicos de la arena revestida utilizada para la fabricación de noyos, la cual dentro de su composición cuenta con una proporción de 3% de resina fenólica.

**Objetivo 3: Evaluar la modalidad adecuada de disposición final de arenas descartadas de fundición al aplicar el programa IWEM 2.0.**

Los resultados del programa IWEM 2.0 advirtieron que no es posible realizar la disposición final de ninguna de las muestras analizadas directamente en suelo debido a las concentraciones de fenoles en agua subterránea del acuífero libre detectadas en la simulación. Las muestras de arena revestida (M1) y residuo de noyó (M3) deben disponerse en rellenos de seguridad, mientras que las muestras de arena verde (M2) y ADF final (M4) en relleno sanitario (barrera de arcilla y geomembrana). Solo la muestra M5, correspondiente a ADFs generadas luego de modificaciones aplicadas en el proceso productivo con el objetivo de reducir las concentraciones de compuestos fenólicos totales presenta valores por debajo de los establecidos en la Ley 24.051 (0,05 mg/l). Solo así se obtuvo en la simulación una concentración inferior a 0,002 mg/l en agua subterránea 1000 metros de distancia del sitio de disposición, lo cual indica que es posible disponer este residuo a través de un sistema de barrera simple, pero alterando la calidad del agua del acuífero freático a menores distancias por encima de los límites de regulación para agua potable

#### **Objetivo 4: Efectuar recomendaciones para la adecuada gestión de arenas descartadas de fundición dentro y fuera del proceso productivo.**

Si bien IAB cuenta con un mecanismo de recuperación de arenas dentro de su proceso productivo, las ADFs (M4) presentaron concentraciones de compuestos fenólicos totales por encima de los límites de regulación de la Ley 24.051, razón por la cual deben considerarse residuos peligrosos y gestionarse como tal. Es por ello, que se propuso modificar el proceso de generación de ADFs de IAB efectuando previo al descarte una tanda de producción sin uso de noyos con el fin de asegurar la reducción de los compuestos fenólicos a concentraciones por debajo de los límites de regulación de 0,01 mg/l de la Ley de Residuos Peligrosos.

La concentración de compuestos fenólicos totales en las muestras de ADF (M5) con proceso de descarte modificado fue de 0,05 mg/l lográndose así un residuo no peligroso, al encontrarse por debajo del límite de regulación

Por lo mencionado anteriormente sería factible no catalogar a las ADFs generadas por IAB como un residuo especial, permitiendo de esta manera incluir alternativas de valorización para las mismas, como la reutilización de estas dentro de otros procesos productivos para la fabricación de otros productos y reducir así el uso de este recurso, minimizar la presión sobre los recursos naturales y reducir los impactos generados por la extracción, transporte, etc., que trae consigo la explotación de este recurso. No obstante, debe evitarse la generación de muestras de arenas revestidas (M1), y en caso de generarse se deben separar de la corriente de residuos y gestionarse como residuo peligroso.

#### **Comentario Finales**

Si bien la preocupación que ha despertado esta problemática en investigadores, empresas y organismos de control ha permitido que en algunos casos se avanzara en la reglamentación de leyes que benefician a la gestión integral de este tipo de residuos, aún queda un largo camino por recorrer, en el cual la participación de las empresas en presentar información sobre las características de sus residuos será un factor

determinante con el fin de permitir a los organismos de control regularizar esta situación que no solo dificulta la gestión en la disposición de las ADFs sino que incide negativamente en el ambiente.

En Argentina existe la necesidad de obtener una mayor participación no solo de las empresas sino también de los entes de regulación para generar leyes más adecuadas de acuerdo a las características de este tipo de residuos así como de su impacto a nivel ambiental, este tema ya ha sido informado por investigadores como Miguel, Sota, Silvia, Dungan, entre otros., proponiendo la necesidad de analizar las actuales restricciones a nivel Nacional para estos residuos en pos de incorporar nuevamente en el proceso productivo a nivel industrial y reducir la presión ejercida actualmente sobre este recurso natural así como las malas prácticas actuales de disposición que afectan no solo al medio físico natural y a la salud de las personas.

## 10. REFERENCIAS

ACUMAR (Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo). 2003. Sistema de Gestión de información hidrológica relacionada a la calidad y dinámica de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. <http://www.bdh.acumar.gov.ar/> [Acceso 5 de Julio de 2015].

Aguirre, Iokin. 2008. Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como áridos en las propiedades del hormigón. Barcelona. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad de Cataluña. España.

Alves, Barbara., Dungan, Roberto., Carnin, Raquel., Galvez Rosa y de Carvalho Pinto, Catia. 2013. Metals in Waste Foundry Sands and an Evaluation of Their Leaching and Transport to Groundwater. Springer International Publishing Switzeland. USA.

Areauz, Mora., Arca, Gladys., Barcat, Beatriz., Caraballo, Andreina., Ferrarazzo, Andrea., Gowland, María y Manfredi, Carmen. 2002. Foro desarrollo sostenible de la cuenca Matanza-Riachuelo. Fundación Ciudad. CABA. Argentina.

Appolloni, O., Morano, P., Paredes, A., Palaverccich, P., Büechele, O., Sartori, M, Astrolog, M, Almada, M. 2010. Arenas de fundición, se reaprovechamiento como mejorar de suelos en calles y caminos. Reducción del impacto ambiental, sistema económico y ecológico. Congreso Latinoamericano de Fundición. Buenos Aires, Argentina.

ATSDR (Agencia para sustancias toxicas y enfermedades registradas). 2008. ToxFAQ for Phenol. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=147&tid=27> [Acceso 10 de Marzo de 2015].

Auge, Miguel., Hernández, Mario y Hernández, Lisandro. 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Groundwater and human development. Argentina.

Auge, Miguel., Hirata, Ricardo y López Vera, Fernando. 2004. Vulnerabilidad a la contaminación por Nitratos del acuífero Puelche en la Plata. Centro de estudios de América Latina (CEAL). Argentina.

Bernocco, Ey Porterie, J. 2009. Valorización de residuos en la industria de la fundición. Revista El Fundidor, N° 128. Argentina.

CAMCM (Comisión Ambiental Metropolitana de la ciudad de México) y SACT (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica). 1996. Manual de minimización, tratamiento y disposición. Ciudad de México. México.

Carey, P. 2002. Sandbinders, sand preparation and coremaking. Foundry Management & Technology January.

Carnin, R., Valadares Folgueras, M., Luvizão, R., Correia, S., da Cunha, C y Dungan, Roberto. 2012. Use of an integrated approach to characterize the physicochemical properties of foundry green sands. Thermochemica Acta, 543: 150-155. Netherlands.

CEPA (Canada Environmental Protection Acts). 1999. Priority substances list assessemtns report for phenol. Disponible en: <http://www.hcsc.gc.ca/ewhsemt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/phenol/index-eng.php> [Acceso 3 de Agosto de 2015].

CIFRA (Cámara de Industriales Fundidores de la República Argentina) 2013. Petitorio entregado en Reunión CIFRA y Ministerio de Industria. Disponible en: <http://www.fundidores.org.ar/noticias/reuni%C3%B3n-cifra-ministerio-de-industria> [Acceso 10 de Julio de 2015].

CONAL (Comisión Nacional de Alimentos). 1971. Código Alimentario Argentino. <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/marco/marco2.php> [Acceso 25 de Marzo de 2015].

Cortes, Oropeza., Sánchez, Erick. y Aviles, Ricardo. 2012. La Arena Residual de Fundición y su Revalorización para la Industria de Construcción. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo. México.

Deng, A. 2009. Contaminants in waste foundry sands and its leachate. *International Journal Environment and Pollution* 38, 425-443. China.

Dungan, Roberto. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons and phenolics in ferrous and non-ferrous waste foundry sands. *Journal of Residual Science and Technology*. USA.

Dungan, Roberto. 2008. The characterization of trace metals and organics in spent foundry sands over one year period. *Residual Science & Technology*. USA

Dungan, Roberto y Dees, N. 2009. The characterization of total and leachable metals in foundry molding sands. *Journal of Environmental Management*, USA.

Dungan, Roberto. 2012. Cuantificación de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos y Fenólicos en Arenas Descartadas de Fundición. Congreso Latinoamericano de fundición COLFUN 2012. Octubre de 2012. Buenos Aires. Argentina.

El Fundidor, 2015. Estadísticas de fundición 2002-2014. CIFRA (Cámara de Industriales Fundidores de la República Argentina). *El fundidor* 136:83-85. Argentina.

Elizalde, S., Di Maio, A y Miguel, R. 2010. Valorización de las arenas de fundición en la fabricación de cemento pórtland. Congreso Latinoamericano de Fundición. Costa Salguero, Buenos Aires. Argentina.

Geng, Y., Zhu, Q. y Haight, M. 2006. Planning for integrated solid waste management at the industrial Park. Institute for Eco-planning and Development. School of Management Building, Dalian University of Technology. Tianjin. China.

Guerino, K., Vicenzi, S., Bragança, C y Bergmann, P. 2010. Uso de areia de fundição como matéria-prima para a produção de cerâmicas brancas triaxiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, Brasil.

Ham, R., Boyle, W y Kunes, T. 1981. Leachability of foundry process solid wastes. *Journal of Environmental Engineering* 107:155-170. USA.

IRAM, 2003. Norma IRAM 29523. Determinación de la composición de residuos sólidos urbanos no procesados. *Calidad Ambiental y Calidad de Suelos*. Argentina.

Ji, S., Wan, L. y Fan, Z. 2000. The Toxic Compounds and Leaching Characteristics of Spent Foundry Sands. Department of Materials Engineering, Brunel University, Uxbridge. China.

Lalla, Nicolás y Pasquini, Juan. 2008. Uso de arenas de moldeo residuales como adiciones en la industria de la construcción. Grupo de Estudios Ambientales. Facultad Regional San Nicolás. Universidad Tecnológica Nacional. Posadas. Argentina.

Marcozzi, R., Miguel, Roberto., Sota, J y Banda, Noriega. 2010. Residuos de arenas de fundición (RAFs) valorizados como materia prima en mezclas asfálticas en caliente. Congreso latinoamericano de fundición. Buenos Aires. Argentina.

Miguel, Roberto. 2004. Arenas de fundición en clave ambiental. Tesis de grado de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas UNCPBA. Tandil, Buenos Aires, Argentina.

Miguel, Roberto, Sota, J., Banda, Noriega y Bettina, R. 2005. Residuos de arenas de fundición. Bases para la gestión sustentable. Centro de Investigaciones Eco-geográficas y Ambientales (CINEA). Municipio de Tandil. Argentina.

Miguel, Roberto. 2009. Gestión de residuos de arenas de fundición en Tandil y su impacto en sistema hídrico subterráneo. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Miguel, Roberto., Sota, Jorge., Barreda, M., Monzón, J y Banda, Noriega. 2009. Hormigones de cemento portland elaborados con RAF obtenidos en diferentes procesos de fundición. LEMaC-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aire y Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional La Plata. Municipio de Tandil. Argentina.

Miguel, Roberto., Banda, N., Marcozzi, R y Sota, J. 2010. Residuos de arenas de fundición (RAFs) tendencias y limitantes actuales en pos de una gestión integral. Congreso latinoamericano de fundición. Buenos Aires. Argentina.

Miguel, Roberto., James, A., April, B., Leytem, A., Porta, R., Banda, Noriega y Dungan, Roberto. 2012. Analysis of total metals in waste molding and core sands from ferrous and non-ferrous foundries. Journal of Environmental Management 110. USA y Argentina.

Miguel, Roberto., James, A., April, B., Leytem, A., Porta, R., Banda Noriega, R y Dungan, Roberto. 2013. Use of standardized procedures to evaluate metal leaching from waste foundry sands. American Society of Agronomy. Journal of environmental quality. USA.

Miguel, Roberto. 2014. Estrategias de gestión para arenas descartadas de fundición en función de sus características químicas y ambientales. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ciencias exactas. Doctorado de la facultad de ciencias exactas. Argentina.

Modern, Casting. 2011. 45th Census of World Casting Production. Modern Casting, Diciembre 2011. USA.

Naciones Unidas. 1972. Declaración de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente humano. <http://www.jmarcano.com/educa/docs/estocolmo.htm>. [Acceso 15 de Junio de 2014].

Natividade, Luiz. 2009. Avaliação da redução dos resíduos sólidos de areia resinada em fundição de aço através de recuperação térmica. Universidad federal da bahía. Salvador Bahía. Brasil.

Novais de Oliveira, Therezinha y Ribeiro da Costa, Rejane. 2012. Areia de fundição: uma questão ambiental. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Campus Universitario Trindade. Florianópolis. Brasil.

Ormazábal, J. 2001. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno vasco. España.

OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible). 1997. Ley de Residuos Especiales 11720, Decretos y Resoluciones. <http://www.opds.gba.gov.ar/index.php/leyes/tema/5> [Acceso 25 de Octubre de 2014].

OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible). 1997. Resolución 228/98, Decretos y Resoluciones. <http://www.opds.gba.gov.ar/index.php/leyes/tema/5> [Acceso 25 de Octubre de 2014].

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., Gonzalez Deldado M., Rodriguez Vidal R y Alfayate Blanco, J. 2003. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Paraninfo Thomson Editores Spain. Primera edición. España.

Peixoto, Fabiano. 2003. Regeneração Térmica de Areia Ligada Químicamente. Dissertação. Maestría en ingeniería de materiales y procesos avanzados. Universidad del Estado de Santa Catarina, Brasil.

Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, J., Pasquini, N., Lalla, N y Boccaccini, N. 2009. Recycling of foundry sand residuals as aggregates in ceramic formulations for construction materials”. VII International Conference on Ecosystems and Sustainable Development. Chianciano Terme, Italia.

Roa, T. 2003. Metal Casting: Principles and Practice. New Age International (P) Ltd. Publishers, New Delhi, India.

SAyDS (Secretara de Ambiente y Desarrollo Sustentable). 1993. Ley Nacional de Residuos Peligrosos 24.051 y Decreto Reglamentario 831/93. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/?aplicacion=normativa&IdNorma=538&IdSeccion=0> [Acceso 25 de Septiembre de 2014].

Scheunemann, Ricardo. 2005. Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico viaprocessoFenton. Maestría en ingeniería Química. Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Silva, S., Salgueiro, W., Somoza, y Lallo, Y. 2008. Análisis de los residuos producidos durante la fabricación de piezas en una empresa metalúrgica de Tandil. Instituto de Física de Materiales (IFIMAT), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Municipio de Tandil. Argentina.

Sosa, B., Banda, N. y Guerrero, E. 2013. Industrias de fundición: aspectos ambientales e indicadores de condición ambiental. CICPBA. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales. Revista de metalurgia 49. Ciudad de Tandil. Argentina.

Sota, J., Barreda, M., Monzón, D., Banda, N. y Miguel, R. 2007. Hormigones de Cemento Pórtland con Arenas de Fundición. Revista Técnica Cemento Hormigón. Argentina.

USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). 2002. Industrial Waste Management Evaluation Model (IWEM) Technical Background Document. EPA530-R-

02-012. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC. August. Disponible en: <http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/industrial/tools/iwem/index.htm> [Acceso 15 de Septiembre de 2015].

USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). 2009. Human Health Criteria - Phenol. Disponible en [http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/phenol\\_index.cfm](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/phenol_index.cfm) [Acceso 15 de Septiembre de 2015].

Yu, W., He, H., Cheng, N., Gan, B y Li, X., 2009. Preparation and experiments for a novel kind of foundry core binder made from modified potato starch. Materials and Design. China.

Zanetti, M y Fiore, S. 2002. Foundry processes: the recovery of green moulding sands for core operations Journal Resources, Conservation and Recycling N° 38. Italia.

# ANEXOS

Anexo A. Resultado de análisis de lixiviación para las muestras M1, M2, M3, M4 y M5.

Laboratorio Central: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 11) 4261-4333  
 Sede San Juan: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 222) 422 9379/4304  
 Sede Salta: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 387) 429 3923  
 Sede Neuquén: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 0299) 435 3139  
 Sede Chubut: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 0293) 454 8287  
 Sede Mendoza: [induser@induser.com.ar](mailto:induser@induser.com.ar) - Tel/Fax (54 0361) 424 1367  
[www.induser.com.ar](http://www.induser.com.ar)

  
**INDUSER**  
 GRUPO INDUSER S.A.S.  
 Confidabilidad y Excelencia

---

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 197745**

**Fecha de recepción:** 13/03/2015 **Fecha de emisión:** 22/04/2015

**Cliente:** OSCAR IVAN BAUTISTA DIAZ  
**Dirección Fiscal:** Localidad (Buenos Aires)  
**Muestra Manifestada:** RESIDUO SÓLIDO (ARENA)

**Cantidad:** (4 MUESTRAS)  
**Tomada Remitida:** OSCAR IVAN BAUTISTA DIAZ

Resultados			
Muestra: M1			
Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
SOBRE LIXIVIADO (*)	---	---	EPA 1310 B
Plata (*)	mg/l	< 0.20	EPA 3010 A/ 6010 C
Arsénico (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Bario (*)	mg/l	< 1.0	EPA 3010 A/ 6010 C
Cadmio (*)	mg/l	< 0.05	EPA 3010 A/ 6010 C
Cobre (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Cromo (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Mercurio	mg/l	< 0.010	EPA 7470 A
Níquel (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Plomo (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Selenio (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Zinc (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Compuestos Fenólicos (*)	mg/l	58.7	SM 5530 B/C
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Totales (*)	µg/l	< 0.2	EPA 8235 A/ 8310

Muestra: M2			
Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
SOBRE LIXIVIADO (*)	---	---	EPA 1310 B
Plata (*)	mg/l	< 0.20	EPA 3010 A/ 6010 C
Arsénico (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Bario (*)	mg/l	< 1.0	EPA 3010 A/ 6010 C
Cadmio (*)	mg/l	< 0.05	EPA 3010 A/ 6010 C
Cobre (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Cromo (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C

Página 1 de 3

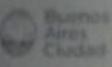
Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se diligenciará de las mismas según normativas vigentes.

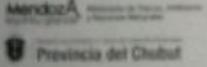
Laboratorio Central: Gadeñu 1781 - C.P. 7622 - Luján de Zañovera (B.S. AS.)

Rev 1 Fecha de vigencia: 06/1/05













**PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 197745**

Fecha de recepción: 13/03/2015

Fecha de emisión: 22/04/2015

**Muestra: M2**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
Mercurio	mg/l	< 0.010	EPA 7470 A
Niquel (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Piombo (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Selenio (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Zinc (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Compuestos Fenólicos (*)	mg/l	0.18	SM 5530 B/C
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Totales (*)	µg/l	< 0.2	EPA 3535 A/ 8310

**Muestra: M3**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
SOBRE LIXIVIADO (*)	---	---	EPA 1310 B
Plata (*)	mg/l	< 0.20	EPA 3010 A/ 6010 C
Arsénico (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Bario (*)	mg/l	< 1.0	EPA 3010 A/ 6010 C
Cadmio (*)	mg/l	< 0.05	EPA 3010 A/ 6010 C
Cobre (*)	mg/l	0.26	EPA 3010 A/ 6010 C
Cromo (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Mercurio	mg/l	< 0.010	EPA 7470 A
Niquel (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Piombo (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Selenio (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Zinc (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Compuestos Fenólicos (*)	mg/l	39.0	SM 5530 B/C
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Totales (*)	µg/l	< 0.2	EPA 3535 A/ 8310

**Muestra: M4**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
SOBRE LIXIVIADO (*)	---	---	EPA 1310 B
Plata (*)	mg/l	< 0.20	EPA 3010 A/ 6010 C
Arsénico (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Bario (*)	mg/l	< 1.0	EPA 3010 A/ 6010 C
Cadmio (*)	mg/l	< 0.05	EPA 3010 A/ 6010 C
Cobre (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C

Página 2 de 3

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la autorización escrita del Laboratorio Induser.  
 Las muestras deben mantenerse en el laboratorio por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este tiempo se dispondrá de las mismas según normativas vigentes.

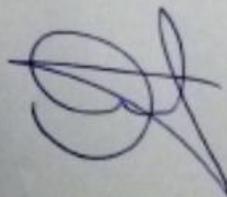
**PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 197745**

Fecha de recepción: 13/03/2015

Fecha de emisión: 22/04/2015

Muestra: M4

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
Cromo (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Mercurio	mg/l	< 0.010	EPA 7470 A
Níquel (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Plomo (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Selenio (*)	mg/l	< 0.10	EPA 3010 A/ 6010 C
Zinc (*)	mg/l	< 0.50	EPA 3010 A/ 6010 C
Compuestos Fenólicos (*)	mg/l	1.40	SM 5530 B/C
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Totales (*)	µg/l	< 0.2	EPA 2535 A/ 8310



Lic. Fernando A. Gómez  
 Coordinador Anal. Laboratorio  
 GRUPO INDUSER S.R.L.  
 M.P. C.P.D. 1642

**Observaciones**

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación O.A.A.

**Pruebas preliminares realizadas**

Muestra - Recibida: 13/03/2015 Fecha de Emisión: 20/04/2015

Este informe es válido únicamente para las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio. Este informe es válido por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispone de las muestras según normativas vigentes.

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 202247

Fecha de recepción: 01/06/2015

Fecha de emisión: 19/06/2015

**Cliente:** Industrias Aguila Blanca S.A.  
**Dirección Fiscal:** Monseñor Lopez May 1345 Localidad: Isidro Casanova - Buenos Aires  
**Muestra Manifestada:** RESIDUO SOLIDO

**Cantidad:** (1 MUESTRA)  
**Tomada Remitida:** Industrias Aguila Blanca S.A.

**Resultados**

**Muestra: M1**

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
SOBRE LIXIVIADO	—	—	EPA 1310 B
Compuestos Fenólicos	mg/l	0.05	SM 5530 B/C

Página 1 de 1

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Industrial. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativas vigentes.

Anexo B. Evaluación de resultados obtenidos a través del programa IWEM para la M5 a 500 m de distancia.



Tier 2 Evaluation Results

21/06/2015 02:16:29p.m.

Recommendation: Composite Liner

---

<b>Facility Type</b>	Landfill
<b>Facility name</b>	IAB
<b>Street address</b>	0000
<b>City</b>	Isidro casanova
<b>State</b>	Pcia Buenos Aires
<b>Zip</b>	x
<b>Date of sample analysis</b>	0001
<b>Name of user</b>	IAB
<b>Additional information</b>	X

---

Landfill Parameters

Parameter	Value	Data Source
Depth of base of the LF below ground surface (m)	0	m
Distance to well (m)	500	m
Landfill area (m <sup>2</sup> ) [requires site specific value]	10000	m
WMU depth (m) [requires site specific value]	1	m

---

Subsurface Parameters

Subsurface Environment Alluvial & Flood Plain with Overbank Deposits

Parameter	Value	Data Source
Ground-water pH value (metals only)	6.93pH	pH
Depth to water table (m)	4.9m	m
Aquifer hydraulic conductivity (m/yr)	1825m/a	m/a
Regional hydraulic gradient	0.0024m/m	m/m
Aquifer thickness (m)	25m	m

---

**Regional Soil and Climate Parameters**

Parameter	Value
Soil Type	Fine-grained soil (silty clay loam)
Climate Center	Indianapolis IN
No Liner Infiltration Rate (m/yr)	.1064
Clay Liner Infiltration Rate (m/yr)	.0444
Composite Liner Infiltration Rate (m/yr)	Monte Carlo
Recharge Rate (m/yr)	0.1064

**Constituent Reference Ground-water Concentrations and Constituent Properties**

Constituent Name	RGC (mg/L)	RGC Based On	Kd* (L/kg)	Decay Coeff* (1/yr)	Leachate Concn. (mg/L)
Phenol	0.001	User Defined			0.05

\*If a site-specific value was entered by the user, it will be displayed here; otherwise, the model used the constituent properties listed at the end of the report.

**Detailed Results for Parent Constituents -- No Liner**

Constituent Name	Leachate Concn. (mg/L)	DAF (mg/L)	LCTV (mg/L)	Selected RGC	RGC (mg/L)	90th %tile Exp. Concn. (mg/L)	Protective?
Phenol	0.05	7.8	0.0078	User Defined	0.001	0.0064	No

**Detailed Results for Parent Constituents -- Clay Liner**

Constituent Name	Leachate Concn. (mg/L)	DAF (mg/L)	LCTV (mg/L)	Selected RGC	RGC (mg/L)	90th %tile Exp. Concn. (mg/L)	Protective?
Phenol	0.05	17	0.017	User Defined	0.001	0.003	No

**Detailed Results for Parent Constituents -- Composite Liner**

Constituent Name	Leachate Concn. (mg/L)	DAF (mg/L)	LCTV (mg/L)	Selected RGC	RGC (mg/L)	90th %tile Exp. Concn. (mg/L)	Protective?
Phenol	0.05	9700	9.7	User Defined	0.001	5.17E-06	Yes

**CAPS & WARNINGS**

- A - The LCTV is capped by the Toxicity Characteristic Rule Exit Level (TC LEVEL) of the constituent.
- B - The LCTV is capped by 1000 mg/L (EPA Policy).
- C - The LCTV exceeds the cited solubility for this constituent.
- D - The parent constituent LCTV is derived from the LCTV of a more conservative toxic daughter product(s).

Constituent Name	CAS ID
Phenol	108-95-2

**Physical Properties**

Property	Value	Data Source
ChemicalType	Organic	
Molecule Weight (g/mol)	94.1128	
Log Koc (distribution coefficient for organic carbon)	1.23	USEPA, 1993a
Ka: acid-catalyzed hydrolysis rate constant (1/mol yr)	0	USEPA, 1993a
Kn: neutral hydrolysis rate constant (1/yr)	0	USEPA, 1993a
Kb: base-catalyzed hydrolysis rate constant (1/mol yr)	0	USEPA, 1993a
Solubility (mg/L)	8.28E+04	USEPA, 1997c
Diffusivity in air (cm <sup>2</sup> /sec)	263	Calc., based on USEPA, 2001a
Diffusivity in water (m <sup>2</sup> /yr)	0.0325	Calc., based on USEPA, 2001a
Henry's law constant (atm-m <sup>3</sup> /mol)	3.97E-07	USEPA, 1997c

**Reference Ground-water Concentration Values**

Property	Value	Data Source
Maximum Contamination Level (mg/L)		
HBN-Ingestion, Non-Cancer (mg/L)	15	USEPA, 2001b
Reference Dose (mg/kg-day)	0.6	USEPA, 2001b
HBN-Ingestion, Cancer (mg/L)		
Carcinogenic Slope Factor-Oral (1/mg/kg-day)		
HBN-Inhalation, Non-Cancer (mg/L)	900	CALEPA, 2000
Reference Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	0.2	CALEPA, 2000
HBN-Inhalation, Cancer (mg/L)		
Carcinogenic Slope Factor-Inhalation (1/mg/kg-day)		