

## ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS DURANTE LA FABRICACIÓN DE PIEZAS EN UNA EMPRESA METALÚRGICA DE TANDIL

### ANALYSIS OF THE WASTE PRODUCED DURING THE MANUFACTURE OF PARTS IN A METALLURGICAL INDUSTRY IN TANDIL, ARGENTINA

L. Silva<sup>1,2</sup>, W. Salgueiro<sup>1</sup>, A. Somoza<sup>1,3</sup>, Y. Lalloz<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Física de Materiales (IFIMAT)- UNCentro, Pinto 399, 7000 Tandil

<sup>2</sup> Becario CONICET

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11, 1900 La Plata

<sup>4</sup> Metalúrgica Tandil S.A, Figueroa 544, 7000, Tandil.

e-mail: [wsalgue@exa.unicen.edu.ar](mailto:wsalgue@exa.unicen.edu.ar)

Se presenta un estudio de la masa de residuos sólidos generados por una empresa metalúrgica situada en Tandil, Provincia de Buenos Aires. Esta empresa participa activamente en programas que llevan adelante políticas de cuidado del medio ambiente. En un cierto período del año 2007, en la Planta de Hierro de la empresa sistemáticamente se 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. Se estiman parámetros tales como balance de masa, relación porcentual entre cada tipo de residuo y la relación entre residuos totales y producto final comercializado por la empresa. Con los datos obtenidos se efectúa una predicción de la cantidad de residuos esperados con proyección de 3 quincenas aplicando un modelo tomado de la literatura, de uso habitual en estimaciones vinculadas al manejo de residuos, ya que el éxito en la planificación de un sistema de gestión de residuos sólidos depende de manera crítica de la precisión en la predicción de generación de residuos sólidos.

Palabras clave: Residuos industriales, balance de masa de residuos, residuos sólidos.

A study of solid industrial waste produced by a metallurgical company located in Tandil, Argentina, is carried out. Programs of adequate environmental strategy of management are developed by the company. This work it is a contribution to the study of solid waste produced by the production process. In a period of 2007, a identification and classification of waste produced in the different sections in the iron plant of the automotive company was carried out. Parameters such as mass balance, and ratios between the different types of waste and ratio to final product commercialized by the company were estimated. Furthermore, a fortnightly prediction for three periods is carried out using a model reported in the waste management bibliography. The prediction is a contribution to a successful management of solid waste, condition critically determined by the accuracy in the prediction of produced waste.

Keywords: Industrial waste, waste mass balance, solid waste.

## I. INTRODUCCIÓN

Las industrias desempeñan un papel significativo en la producción y utilización de bienes y servicios aunque es sabido que sus procesos productivos conllevan además de todos los bienes que generan, un gasto ambiental representado en proporción apreciable por los materiales de desecho o residuos, que se generan como parte ineludible de todo proceso productivo <sup>(1)</sup>. La correcta gestión de los residuos es un gran reto para las industrias, debido a la gran cantidad de desechos y la variabilidad de las características de los residuos generados y la peligrosidad que presentan cuando la eliminación es incierta o aún los vertederos utilizados para su deposición no son los correctos <sup>(2,3,4)</sup>. Por lo

tanto, la gestión adecuada de residuos sólidos se ha convertido en un factor de real importancia para los administradores de las industrias <sup>(5,6)</sup>.

A nivel nacional la protección del ambiente presenta uno de los mayores retos del presente, siendo especialmente importante el conocimiento de la cantidad de residuo generado para su reducción y correcta eliminación. La industria es consciente de ello, y la gran mayoría de ellas se inclina en forma activa y preventiva hacia la protección del medio ambiente.

En nuestro medio, y más precisamente en la Planta de Hierro de Metalúrgica Tandil S.A. (MT), en donde se efectuó el estudio que aquí se presenta, se consideró importante alcanzar un conocimiento detallado del flujo

de residuos sólidos generados a efectos de optimizar su manejo. Con ese objetivo se estudió la ubicación de los mismos dentro de la Planta para a posteriori, utilizando metodologías adecuadas, generar un balance de masa cuantificando la masa de residuo generado en un período determinado. La información obtenida reviste fundamental importancia ya que permite calcular la relación entre residuos sólidos generados y la producción de piezas para el mismo intervalo de tiempo y, por ende, efectuar estudios de impacto ambiental en la empresa<sup>(7)</sup>.

Por otra parte, y a los efectos de analizar los datos obtenidos, se ha aplicado el Modelo Dinámico Gris (GM) con el objeto de predecir la generación de residuos sólidos. La teoría de sistema gris puede ser aplicada al tratamiento de datos, modelos, predicciones, tomas de decisiones y control. Recientemente, la teoría de sistema gris ha acaparado la atención de ingenieros e investigadores como una nueva herramienta para el manejo de información con disponibilidad de datos incompleta<sup>(8)</sup>. Este modelo es ampliamente utilizado en muchos países en desarrollo en los cuales las condiciones de predicción de generación de residuos son muy diferentes a la de los países desarrollados<sup>(9)</sup>.

Si bien para los estudios llevados a cabo para este trabajo se contó con un conjunto limitado de datos, se pudieron obtener primeros resultados los cuales son alentadores. Debe tenerse en cuenta que el éxito de la planificación de un sistema de gestión de residuos sólidos depende de manera crítica de la precisión en la predicción de generación de los residuos<sup>(10-12)</sup>.

En lo sucesivo se presenta en forma resumida el algoritmo de solución del modelo gris de predicción GM, indicando los pasos más importantes del proceso:

1- Los datos se convierten a una nueva serie de datos transformados mediante una transformación preliminar denominada AGO (Accumulated Generating Operation).

$$X^{(\zeta)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{\zeta-1}(i) \quad (1)$$

Donde k es el número de datos, X<sup>(0)</sup>(k) es el dato observado y ζ es el número de la transformación.

2- Se determinan los parámetros del modelo GM mediante cuadrados mínimos haciendo uso de los datos transformados.

3- Se busca la solución de la ecuación diferencial del modelo GM (ver ecuación (2)).

4- Los datos correspondientes a la predicción del modelo se obtienen mediante una transformación inversa desde un determinado nivel del AGO al nivel original usando IAGO (Inverse Accumulated Generating Operation)<sup>(8-12)</sup>.

El modelo gris se describe mediante la ecuación diferencial que se presenta en la ecuación (2). La misma se denomina en forma genérica GM(n,m), donde n el orden de la ecuación diferencial y m el número de variables.

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^{n-i} X^{(1)}}{dt^{n-1}} = \sum_{i=1}^{m-1} b_i X_{i+1}^{(1)} \quad (2)$$

El GM (1,1) se usa de forma habitual y describe la forma más simple del modelo:

$$\frac{dX^1}{dt} + aX^1 = b, \quad (3)$$

Siendo a y b los parámetros de la ecuación diferencial.

La solución de la ecuación (3) esta dada por la ecuación (4) y define la serie de datos de AGO ( $\hat{X}$ ).

$$\hat{X}^1(k) = \left\{ X^1(1) - \frac{b}{a} \right\} \exp(-ak) + \frac{b}{a} \quad (4)$$

La ecuación (5) brinda los datos de predicción mediante la aplicación del IAGO.

$$\hat{X}^0(k+1) = \hat{X}^1(k+1) - \hat{X}^1(k) \quad (5)$$

Es importante destacar, que la información obtenida durante la realización de este trabajo aporta a la problemática ambiental regional debido a que existe una gran actividad de producción en la industria metalmeccánica en Tandil y sus alrededores y es necesario disponer de datos actualizados y confiables a los efectos de llevar adelante evaluaciones predictivas de impacto ambiental, entre otras tareas.

## II. EXPERIMENTAL

Del análisis del proceso de producción de piezas fundidas en la Planta de Hierro de MT se desprende que los residuos sólidos que se generan son: Arena de noyos, Barros con zinc, Barros de pintura, Barros de tierra, Escorias, Polvo con zinc, Polvos de aspiraciones y Tierra de prerebado. Esta última constituye el residuo sólido generado en mayor cantidad como consecuencia del tipo de proceso de producción.

El período en que se realizó la toma de datos para la realización del balance de masa abarcó ocho quincenas entre los meses de Febrero y Mayo de 2007. En las primeras quincenas se tomaron datos de los residuos generados en mayor cantidad y se ajustó el proceso de toma de datos a efectos de lograr no interferir con la normal operación de la Planta durante las mediciones. Ya ajustado el proceso de medición se dedicaron las últimas quincenas (finalizando en Mayo de 2007), a la toma de datos detallados de todos los residuos generados, aún los que contribuyen en forma poco significativa al total de residuos.

Considerando que cada residuo posee características propias (estado, tipo de recipiente que los contiene, etc.), las metodologías utilizadas para obtener información cuantitativa de los residuos sólidos generados variaron ajustándose en cada caso (i.e., se efectuaron mediciones de masa o volumen); con los datos obtenidos se cálculo la densidad de cada residuo a efectos de reportar todos los resultados en masa.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados correspondientes a las últimas quincenas del período de toma de datos se efectuó un balance de masa de los residuos generados que se presenta en la Fig. 1 esquematizado en forma de diagrama de bloques.

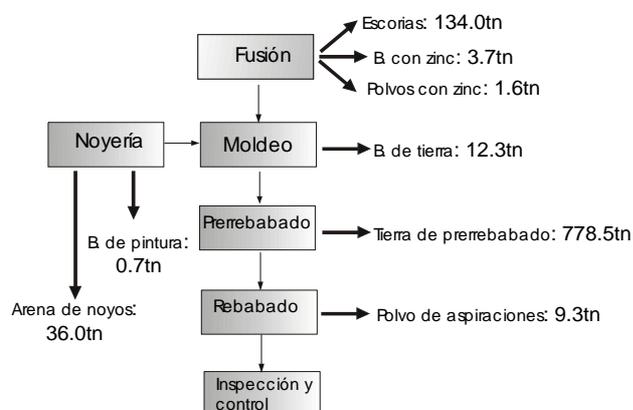


Figura 1: Diagrama en bloques de la empresa MT en donde se presentan las secciones que forman parte del sistema productivo. Asimismo se muestran los valores de la cantidad de residuo generado en cada una de ellas para tres quincenas finalizando en Mayo de 2007.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de cada una de las contribuciones, expresadas en toneladas, de los distintos residuos sólidos analizados y que formaron parte del balance total de masa calculado para las tres últimas quincenas del período estudiado. En dicha tabla se puede apreciar, también, la contribución de cada una de las secciones de la Planta que genera cada residuo.

Residuos	Sección	Cantidad (tn)
Arena de noyos	Noyería	36.0 ± 4.1
Barros con zinc	Fusión	3.7 ± 0.5
Barros de pintura	Noyería	0.7 ± 0.1
Barros de tierra	Moldeo	12.3 ± 1.1
Escorias	Fusión	134.0 ± 5.0
Polvo con zinc	Fusión	1.6 ± 0.4
Polvo de aspiraciones	Rebabado	9.3 ± 1.2
Tierra de prerebabado	Prerebabado	778.5 ± 58.2
	<b>Total</b>	<b>976.1 ± 70.6</b>

Tabla 1: Residuos sólidos que forman parte del balance de masa. Se presentan los valores de los aportes de cada residuo y de las secciones en las cuales se generaron. Como se ha mencionado en el texto, los valores presentados representan lo acumulado durante las tres últimas quincenas del período estudiado (hasta Mayo de 2007).

Del análisis de los resultados obtenidos, se puede apreciar que la sección que genera la mayor cantidad de residuo, del orden del 80%, es la de prerebabado. Esta contribución es por demás esperable ya que justamente

es en este sector en el cual se efectúa la primera limpieza de las piezas fundidas. En un segundo lugar, se observa un importante aporte de las escorias al total de residuos sólidos estimado al cual deben sumarse, también, los otros residuos generados en la misma sección, la de fusión, obteniéndose así un valor total de residuos de aproximadamente 140 tn.

En función de resultados reportados en la Tabla 1, puede concluirse que la cantidad de residuo generada en la Planta en el período en que se obtuvo el balance de masa fue de aproximadamente 980 tn. Si se tiene en cuenta que la producción en piezas fundidas con aleaciones de base hierro para mismo período de tiempo resultó de unas 1500 tn, resulta que la relación entre la generación de residuos y las piezas producidas fue de 0.7 (equivalente a un 70% de la producción de piezas fundidas). Es importante destacar que el resultado obtenido para la relación resulta inferior a la unidad lo cual da cuenta de una gestión ambiental adecuada en su proceso de producción por parte de la empresa, al menos en dicho período.

En la Fig. 2 se presenta un diagrama porcentual de los residuos generados (ver Tabla 1).

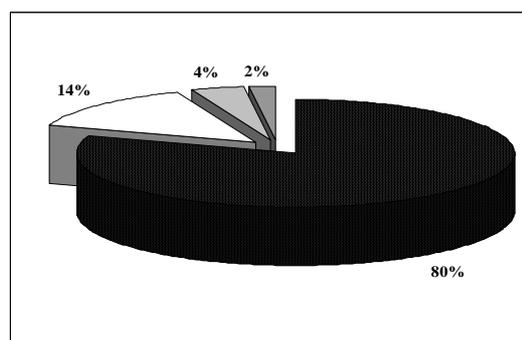


Figura 2: Diagrama porcentual de los residuos sólidos generados en la empresa MT, en las tres últimas quincenas del período de muestreo (hasta Mayo de 2007). ● Tierra de prerebabado ○ Escorias ● Arenas de noyos ● Resto.

Del análisis de la Fig. 2, surge como elemento significativo que el residuo tierra de prerebabado aporta prácticamente el 80% del total de residuos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este residuo no requiere un tratamiento previo antes de su disposición final. Consideramos que esta información es de gran interés ya que el tratamiento de dicho residuo no importa gasto energético alguno antes de su disposición.

En la Tabla 2 se presentan resultados de la cantidad de residuo Tierra de prerebabado generados durante el período de muestreo de 8 quincenas.

Haciendo uso de parte de los resultados reportados en la Tabla 2 y del modelo gris, en la Tabla 3 se presentan datos de predicción de los residuos generados, para tres quincenas (9 a 11), como, así también, los límites inferior y superior de la predicción considerando un nivel de confianza del 95%.

Haciendo uso de parte de los resultados reportados en la Tabla 2 y del modelo gris, en la Tabla 3

se presentan datos de predicción de los residuos generados,

k (Quincena)	Tierra de prerebado (tn)	Total de residuos (tn)
1	315	394
2	279	349
3	261	326
4	180	225
5	171	214
6	279	349
7	315	394
8	185	231

Tabla 2: Cantidad de residuo Tierra de prerebado generado durante el período de muestreo de 8 quincenas entre Febrero y Mayo de 2007 (ver texto).

para tres quincenas (9 a 11), como, así también, los límites inferior y superior de la predicción considerando un nivel de confianza del 95%.

En la Fig. 3 se representan los resultados experimentales presentados en la columna 2 de la Tabla 3 en forma conjunta con los obtenidos usando el modelo GM (1,1), para las quincenas abarcando el período Febrero- Mayo de 2007. Asimismo, y haciendo uso del mismo modelo, se extrapolan los valores de las cantidad de residuos que se espera podrían generarse en las próximas tres quincenas (9 a 11) posteriores a la última determinación experimental.

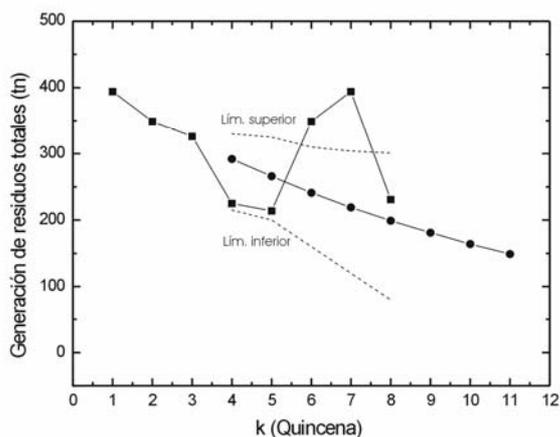


Figura 3: Residuo total generado y predicción obtenida mediante el modelo GM (1,1) en función de las quincenas en el período Febrero-Mayo de 2007 ■ Residuo total generado ● Punto de predicción ---- límites inferior y superior de la predicción.

Del análisis de la Fig. 3, se observa que las cantidades de residuos generados medidos para las quincenas 4, 5 y 8 se encuentran dentro del intervalo de confianza del modelo de predicción GM (1,1). En función de estos resultados, podría concluirse que la

aplicación de este modelo resultaría una herramienta relativamente eficaz para la predicción de residuos generados a futuro. Tal es el caso que, en este trabajo, se presenta la predicción para las tres siguientes quincenas.

Cuando se efectúa un relevamiento de residuos generados en una Planta en funcionamiento, como fue el caso de este trabajo, se debe tener en cuenta que el mismo no debe afectar las actividades propias de la Planta durante la producción de piezas la cual fue, además, de proceso continuo. Indudablemente, somos conscientes que estos factores afectan la adquisición de datos proporcionando un cuerpo de resultados el cual es, en muchos casos, escaso. Sin embargo, el uso de modelos como el usado en este trabajo posibilita dar un tratamiento adecuado al análisis de procesos en donde existe insuficiencia de datos o grandes dispersiones en la información relevada como consecuencia de variaciones puntuales en alguno de los parámetros involucrados en la cuantificación de los residuos generados.

k (Quincena)	Total de Residuos generados (tn)	Predicción de los residuos generados usando GM(1,1) (tn)		
		Total de Residuos esperado	Límite inferior	Límite superior
4	225	292	215	330
5	214	266	200	325
6	349	241	160	310
7	394	219	120	304
8	231	199	80	301
9		181		
10		164		
11		149		

Tabla 3: Se presenta para el período estudiado, los residuos generados, como así también la predicción y los límites inferior y superior calculados con un nivel de confianza del 95%.

#### IV. CONCLUSIONES

En este trabajo, se analizó la generación de residuos de las distintas secciones de la Planta de Hierro de una industria local durante producción de piezas.

Se efectuó el balance de masa del total de residuos generados durante la producción de piezas cuyo valor resultante fue de casi 980 tn.

Teniendo en cuenta el total de residuo mensual generado durante la producción, se calculó la relación entre los residuos generados y las piezas producidas que resultó ser de 0.7, este resultado constituye un primer aporte cuantitativo. El resultado obtenido, inferior a la unidad, da cuenta de una productividad y gestión ambiental adecuada. Se debe tener en cuenta que en este tipo de empresas los residuos de tierra de prerebado y noyería resultan significativamente importantes debido a la concepción misma de los moldes de dimensiones mucho mayores que las piezas que en ellos se funden.

De los resultados obtenidos se encontró que el residuo tierra de prerebado aporta prácticamente el 80% del total de residuos. Cabe mencionar que esta información presente una alta relevancia porque el tratamiento de este residuo, antes de su disposición, no importa gasto energético alguno.

Por último, puede concluirse que el modelo gris GM (1,1) permite efectuar predicciones razonables respecto de la masa de residuos que se generaría a futuro si se cuenta con un cuerpo de datos experimentales que, en algunos casos, podría ser relativamente escaso.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado por (PICT BID 1728/OC-AR N° 1650), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y Secretaría de Ciencia y Técnica (UNCentro), Argentina.

#### **Referencias**

1. Geng, Y., Zhu, Q., Haight, M., Waste Management, **27**, 141-150 (2007).
2. Sanchez, F., Kosson, D.S., Waste Management, **25**, 463-472 (2005).
3. Al Yaqout. A. F., Waste Management, **23**, 817-824 (2003)
4. Manual de minimización, tratamiento y disposición, "Conceptos de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales Para el Giro de la Fundición", Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con: Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TUV ARGEMEX, Diciembre de 1996.
5. Casares, M.L., Ulierte, N., Matarán, A., Ramos, A., Zamorano, M., Waste Management, **25**, 1075-1082 (2005).
6. Mrayyan, B., Hamdi, M.R., Waste Management, **26**, 195-205 (2006).
7. Barton, J. R., Dalley, D., Patel, V.S., Waste Management, **16**, 35-50 (1996).
8. Morita, H., Kase, T., Tamura, Y., Iwamoto, S., Electrical Power Energy. Systems, **18**, 409-413 (1996).
9. Chen, H.W., Chang, N., Resources Conservation Recycling, **29**, 1-18 (2000).
10. Pai, T.Y., Chiou, R.J., Wen, H.H, Waste Management, **28**, 1915-1922 (2008).
11. Su, J., Xi, B.D, Liu, H.L., Jiang, Y.H., Warith, M.A., Waste Management. *En prensa*.
12. Taylor, J. R., "An Introduction to Error Analysis", 2<sup>nd</sup> Ed. University Science Books, California (1997).