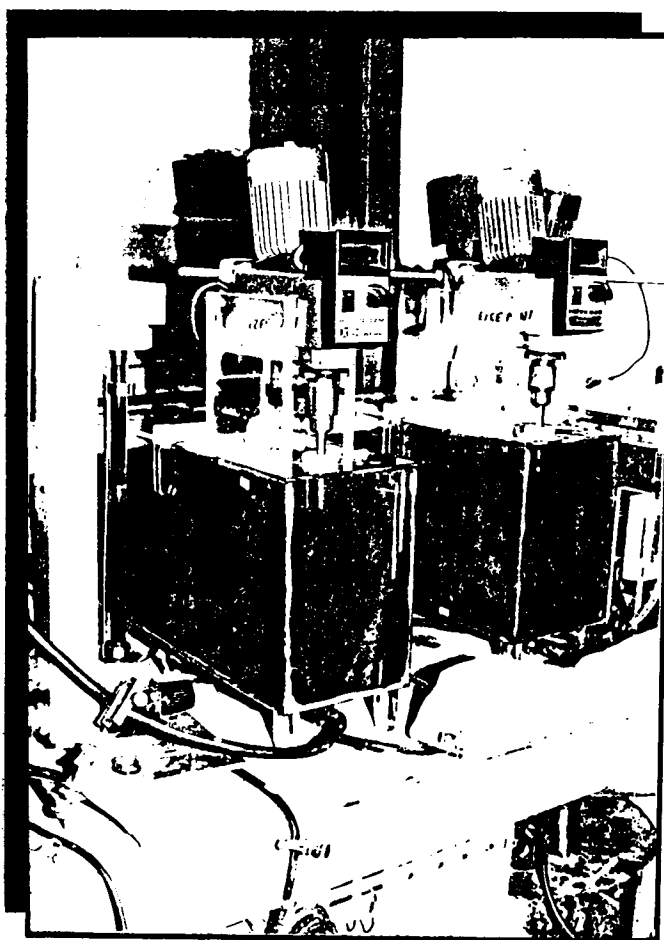


# EXTRACCIÓN POR SOLVENTE



## EQUIPAMIENTO MODERNO

- Agitadores con control e indicación de la velocidad, peachímetros, termostatos, viscosímetros y cristalería.
- Banco con capacidad de 750 mL/min y miniplanta con capacidad de 5 m<sup>3</sup>/día en acrílico transparente para el escalado, evaluación y optimización de forma continua de los resultados de laboratorio. Con rotámetros para la medición y control de los flujos, bombas peristálticas para la alimentación del sistema y electrodo en la línea para la indicación del pH de extracción.
- Solventes ácidos: carboxílico, fosfórico, fosfónico y fosfínicos.

## Y PERSONAL ESPECIALIZADO

- Su equipo está formado por Ingenieros y Técnicos Químicos y Metalúrgicos, los cuales tienen en su haber:
  - Nueve años en la aplicación de esta novedosa técnica.
  - Entrenamientos en el país y en el exterior por reconocidos especialistas tales como el doctor Gordon M. Ritcey.
  - Proyectos de Investigación-Desarrollo.
  - Obtención *Know How* y desarrollo de tecnología.
  - Participación en eventos nacionales e internacionales.
  - Publicaciones en revistas nacionales y extranjeras.

## Determinación del tiempo de residencia y su distribución en hornos de calcinación

Ing. Héctor Alepuz Llansana  
Ing. Ibette M. Ramírez Pérez

Centro de Investigaciones de la Laterita, Carretera Yagrumaje, km 5 ½, Punta Gorda, Moa, Holguín

**RESUMEN:** En el trabajo se presentan los distintos métodos de usar trazadores para determinar el tiempo de residencia (TR) y su distribución (DTR), forma de la DTR en los distintos equipos, de acuerdo con las características de la misma. Se detallan los elementos a tener en cuenta al elegir el trazador a utilizar. Se definen las peculiaridades de los hornos de calcinación de sustancias de baja granulometría y la influencia que tiene el arrastre de partículas finas hacia la zona de alimentación sobre el TR y la DTR. Se detallan las tareas a ejecutar para la determinación, así como la metodología de elaboración de los resultados. Se presenta un ejemplo práctico de determinación de TR y DTR con el procesamiento de la información obtenida, y los resultados de TR y DTR en forma de gráficos y tablas.

**ABSTRACT:** In the work are shown the different methods of using tracers to determine the residence time (RT) and its distribution (TRD), the form of the RTD in the different equipment, according to its characteristics. They are detailed the factors to take into account upon choosing the tracer to be use. They are defined the peculiarities of the ovens low grain size furnaces and the influence that has drag it of fine particles toward the feed zone on the RT and the RTD. They are detailed the task to execute for the determination, as well as the methodology elaboration of the results. It is presented a practical example of determination of RT and RTD, with the processing of the obtained information and the results of RT and RTD in the form of graphic and tables.

## INTRODUCCIÓN

La determinación de TR y su distribución son aspectos fundamentales a tener en cuenta para evaluar el comportamiento de un material procesado en un equipo continuo. Este proceso es estudiado por medio de trazadores, sustancia que alimenta al equipo, y mediante muestreo y análisis se determinan las variaciones de concentración del elemento usado como trazador en el material de salida. La distribución de concentraciones del trazador es igual a la del material procesado alimentado en un instante de tiempo determinado.

Los métodos de cálculo y principios generales están ampliamente presentados en la literatura sobre cinética química. En el trabajo se exponen las leyes generales que rigen la DTR en los distintos tipos de equipos, y se detallan para los hornos de calcinación de materiales de baja granulometría las que lo rigen, así como las medidas a tomar para garantizar obtener un resultado correcto del trabajo realizado.

## GENERALIDADES

En los procesos que se basan en transformaciones químicas de los materiales procesados, el tiempo de reacción es uno de los fundamentales controladores del proceso. El tiempo promedio de residencia del material en el equipo es normalmente calculable con cierta precisión. En el caso de procesar líquidos o pulpas se realiza por la relación entre el volumen del equipo y el flujo, y en el caso del procesamiento de sólidos por las leyes que rigen el transporte del material a través del mismo, pero el tiempo real que permanecen los distintos componentes del material procesado es muy diferente al tiempo promedio, por lo que no solamente interesa el mismo, sino también la DTR en el equipo, es decir, qué proporción del material procesado abandona el equipo al cabo de un tiempo determinado.

Para aclarar más el concepto, podemos partir del hecho de que si un líquido o un sólido fluidizable entran y salen de forma continua en un tanque o tolva de retención, se establece una corriente de material entre los puntos de entrada y salida, que provoca que por la salida salga fundamentalmente el material que entró poco antes, mientras que el material que se depositó en una parte del recipiente de retención alejado de la línea de unión entre la entrada y la salida abandona el equipo en el curso de mucho tiempo después de ser alimentado. Si se somete el material en el recipiente a una agitación, la intensidad de la corriente entre los puntos de alimentación y salida disminuye a medida que va aumentando la intensidad de la agitación. Si la agitación en el reactor es ideal, de forma que la concentración en todos los puntos del mismo es igual, instantáneamente se establece en el mismo una concentración del material alimentado en un instante determinado igual a  $m/v$ , en el que  $m$  es la masa del material y  $v$  el volumen. A medida que el material alimentado abandona el reactor, esta concentración disminuye paulatinamente

hasta que llega a valores cercanos a 0 en un tiempo muy superior al tiempo promedio de residencia. En la Figura 1 se presentan los tres casos: agitación nula, ideal y normal.

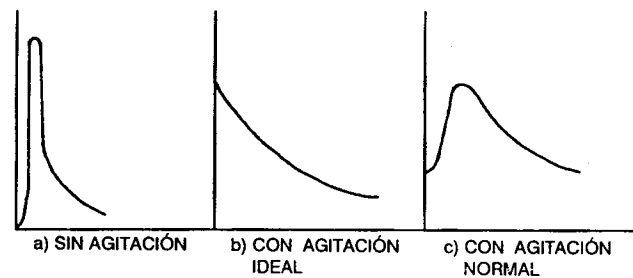


FIGURA 1. Distribución del material con distintos grados de agitación.

Existen equipos en que el material procesado se pone en contacto con una corriente violenta de gases, en la cual esta arrastra una parte del mismo y la transporta independientemente de las leyes que rigen el movimiento del material establecidas por las características del equipo. Esto se hace extremo en el caso de tratamiento de minerales y semiproductos de baja granulometría en hornos a contracorriente, muy común en la práctica como son los hornos de cemento, calcinación reductora de materiales lateríticos, calcinación de alúminas, minerales de cromo, etcétera. En estos casos se produce un arrastre con los gases de salida del horno, que puede llegar hasta 100 % de material alimentado, que es atrapado por los equipos de recuperación de polvo primario y secundario, y devueltos a la alimentación, además, existe un arrastre de material real que se deposita antes de salir del horno. Esto produce que la DTR de estos equipos se acerque mucho a la de los equipos con cortocircuito, pues la parte del material no arrastrado abandona mucho antes el equipo que la parte que fue arrastrada.

Para poder establecer o precisar la DTR en cualquier reactor es normal el uso de trazadores, materiales que se añaden en la alimentación, y muestreando en la salida del horno el material procesado, se determinan los cambios de concentración en el mismo, los que permiten evaluar en qué proporción y cuándo sale el material del equipo.

#### Características de las curvas de distribución del tiempo de residencia (DTR) en distintos reactores

Para apreciar o determinar la DTR en un reactor determinado se mencionan varios métodos. El primero podemos llamarlo con trazadores de adición continua y en el se añade durante un tiempo una cantidad constante del trazador a la alimentación del equipo, el segundo puede llamarse de impulso, y en el se añade en el tiempo más corto posible, una cantidad determinada del trazador, y el tercero, el cíclico, en el que la adición de la cantidad de trazadores a la alimentación se realiza de forma conti-

nua pero su cantidad varía. La representación de los cambios de concentración del trazador y la respuesta en la salida del equipo se presentan en la Figura 2.

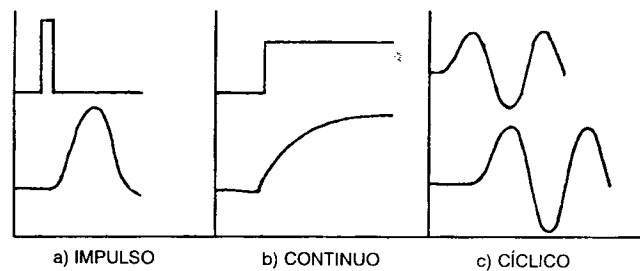


FIGURA 2. Representación de distintos tipos de estímulos y funciones respuesta.

La ejecución del método representado en la Figura 2a es mucho más sencilla y fácil de realizar que los dos métodos siguientes, pues sin grandes recursos es posible resolver el problema de añadir una cantidad del trazador en un tiempo corto a la alimentación del horno, mientras que los otros dos exigen la necesidad de disponer de cantidades mayores del trazador y equipos de dosificación relativamente complicados, por lo que indudablemente es el más usado y posible de realizar en empresas normales. Además de una información suficiente para evaluar el equipo.

Si se emplea el método de impulso para establecer la DTR, el tiempo de residencia puede ser calculable por distintas metodologías.

1. El sistema matemático, cuya utilización se facilita actualmente por la existencia de programas de computación con procesamiento de datos, se basa en que el tiempo de residencia es igual a  $\sum C_i t_i \Delta t / (\sum C_i \Delta t)$ , donde  $C$  y  $t$  son los resultados de la concentración del trazador en la muestra y tiempo que transcurrió desde que se añadió el trazador hasta la toma de la muestra  $t$ ,  $\Delta t$  intervalo de muestreo, si se toma la muestra a intervalos iguales y  $\Delta t$  siempre es el mismo, se puede simplificar la fórmula a:  $\sum C_i t_i / \sum C_i$ .
2. Confección del gráfico de concentraciones vs tiempo en papel cuadriculado y efectuar la integración gráfica del área comprendida entre la curva de concentración y la línea que representa la que es igual a cero. Una variante de este método es la de confeccionar el gráfico, recortar la figura obtenida, pesarla y determinando el peso de la unidad de área del papel, obtener el área de la curva, pero a estos métodos sólo debe acudir por la absoluta imposibilidad de realizar los cálculos de la metodología 1, algo inconcebible en la época moderna.

De la graficación de concentración vs tiempo de toma se obtiene la curva que indica o refleja cómo y en qué cantidad el material salió del reactor.

Una información más comprensible se puede obtener mediante la distribución acumulativa, para esto se

calcula la suma de concentraciones para cada uno de los tiempos de toma, y se determina qué por ciento de la suma total de concentraciones es la suma parcial para cada tiempo de toma. Si se grafica este valor de por ciento vs tiempo se tendrá la curva que representa qué proporción del material alimentado ha abandonado el equipo en el transcurso del tiempo y es posible calcular con facilidad datos interesantes para el tecnólogo de procesos de qué por ciento del material ha abandonado ya el equipo en un tiempo establecido. Estos cálculos y gráficos se desarrollan en el ejemplo que se anexa.

#### Selección del trazador

El trazador utilizado debe reunir las siguientes características:

1. No afectar la salud de los trabajadores del área.
2. No producir efectos negativos apreciables al proceso en que se aplique.
3. Ser susceptible de determinar su concentración por un método de suficiente precisión.
4. No formar compuestos volátiles ni que afecten la determinación de su contenido, por ser insolubles u otra razón cualquiera.
5. Ser asequible, y poderse adquirir a un precio razonable y en la cantidad necesaria.

Como trazadores pueden usarse isótopos radiactivos o compuestos que contengan un elemento que no exista en el mineral o que el contenido del elemento en el mismo sea constante, de forma que la diferencia entre el resultado analítico y el determinado en el material puede ser considerado como valor debido exclusivamente a la presencia del trazador. El uso de isótopos radiactivos tiene ventajas en cuanto a la cantidad a añadir, se puede desprestigiar el error debido a variaciones de concentraciones del elemento analizado en el material alimentado en el curso de la realización, pero su uso se dificulta por la necesidad de tomar medidas de seguridad muy intensas, empleo de personal especializado, métodos de medir radioactividad, costo y dificultad de adquisición, que obligan prácticamente a contratar el servicio con centros dedicados a ensayos nucleares. Si se emplean trazadores normales hay que tener en cuenta si el material procesado contiene altos contenidos del elemento trazador, si la concentración que se utiliza en el cálculo es la diferencia entre el material recibido en la etapa anterior y el obtenido en la muestra, la precisión del método debe ser suficiente para poder apreciar las variaciones debida a la precisión del método y las posibles en el material procesado.

Los materiales más baratos y asequibles, y que por lo tanto son más convenientes para ser usados como trazador, son los de sodio y calcio, específicamente el carbonato y cloruro de sodio y el carbonato e hidróxido

de calcio en forma de piedra caliza o polvos de piedras y de cal. Para ser usados en la determinación del tiempo de residencia de hornos, el carbonato de sodio tiene el defecto de que es higroscópico, debido a lo cual se aglomera con facilidad y tiene una alta capacidad de reacción, por lo que puede con facilidad formar nódulos que influyen sobre su velocidad de traslado a través del equipo o la representatividad de la muestra tomada. Esta deficiencia puede eliminarse si se seca bien y se mezcla con el material de alimentación al horno, de manera que las partículas de carbonato de sodio queden bien dispersas y que se añadan al equipo poco tiempo después de efectuar esta mezcla. Como el contenido de sodio en la mayor parte de los materiales procesados es bajo, y su contenido se determina por precisión por los distintos métodos instrumentales, es uno de los trazadores lógicos a utilizar a la hora de efectuar un tiempo de residencia. El cloruro de sodio, más barato y asequible, tiene el inconveniente de que el cloro es un elemento indeseable en muchos procesos. En los minerales lateríticos el contenido de ambos elementos es muy bajo y si se dispone de métodos analíticos para el calcio, este es un trazador apropiado y el carbonato de sodio ha sido ampliamente usado. El uso de estos trazadores depende de la aplicación de las reglas antes indicadas.

#### Peculiaridades de la determinación del DTR en los hornos de tratamiento de minerales de baja granulometría

El hecho de que en estos equipos el arrastre de material que es rescatado por los equipos de recuperación de polvo y que es realimentado al proceso, provoca la dificultad de que el TR del material no es función solamente del método de transporte del mismo a lo largo del equipo, sino también de la cantidad de material devuelto a la zona de alimentación. En todos los casos el material alimentado al horno no es uniforme, tiene diferencias en cuanto a granulometría, grado de porosidad de las partículas y muchas veces densidad. Esto hace que el arrastre del material sea selectivo. Las partículas de mayor área relativa por unidad de masa por ser de baja granulometría, mayor grado de porosidad o menor densidad, son arrastradas preferentemente con respecto a las partículas de mayor granulometría, menor porosidad o densidad. Debido a que el material atrapado por los equipos de recuperación de polvo se alimenta normalmente junto con el recibido de la etapa anterior del proceso, este está expuesto nuevamente a ser arrastrado, por lo que se establece una recirculación bastante intensa del mismo desde el interior del equipo hacia la alimentación. En estos equipos puede considerarse que la alimentación está formada por dos materiales: el recibido de la etapa anterior y el arrastrado por los gases y recirculado.

Debido a esta intensa recirculación una parte del material, el más fácilmente arrastrable, tarda mucho en

salir del equipo, teniendo un TR en muchas ocasiones varias veces superior a la masa general que no sufre arrastres. Al emplear trazadores para determinar la DTR es necesario tener este hecho en consideración.

Las propiedades del trazador que determinan las condiciones de arrastre del mismo, no pueden ser muy diferentes a la propiedades del material procesado, por lo menos su densidad y granulometría deben ser parecidas y deben tomarse medidas como la de mezclar el trazador con el material de alimentación con el fin de disminuir la posibilidad de un arrastre selectivo del trazador.

Siempre hay una existencia de material en los equipos de recuperación de polvo, que muchas veces es considerable. Sobre todo en los filtros y electrofiltros es común que existan cantidades apreciables de material retenido en las tolvas, muchas veces igual o mayor a la cantidad de polvo recuperado en una hora, por lo que al añadir el trazador, el polvo arrastrado con el mismo al ser atrapado, se depositará en la parte superior de la tolva y puede tardar en ser alimentado al horno nuevamente, según el TR del polvo. Esto provocará que la respuesta de este material alimentado sobre la salida del horno se retrase, obteniéndose un dato de TR y DTR mayores de los reales que corresponde al tiempo de procesamiento en el reactor. Un ejemplo de la variación de la concentración del trazador en la alimentación del horno teniendo en cuenta la alimentación del material recirculado, se presenta en la Figura 3.

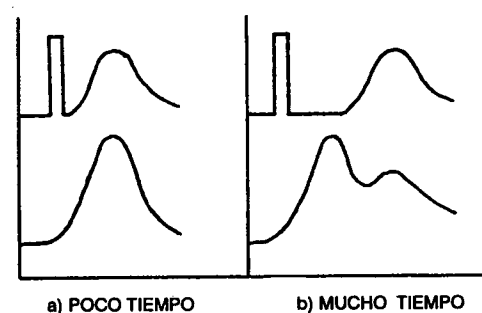


FIGURA 3. Variación en la concentración del trazador en hornos de baja granulometría con poco y mucho material en los equipos de recuperación de polvo y su efecto en la concentración en la salida.

Estos hechos hay que tenerlos en cuenta porque desde el punto de vista de la evaluación del proceso, importa determinar el tiempo que tarda el material en abandonar el horno después que es alimentado, por lo que el tiempo que tarda el trazador en realimentarse al horno induce a conclusiones erróneas.

Si durante la ejecución de la determinación de la DTR por cualquier razón se interrumpe el flujo de materiales del equipo de alimentación al horno, se perderá completamente la influencia sobre el tiempo de residencia y la DTR sobre el material recirculado, obteniéndose un dato falso sobre el proceso.

Como precaución suplementaria debe tomarse la medida de evitar cualquier causa de aglomeración del

trazador en el horno, lo que afectará su granulometría y provocará un error en la información obtenida.

Como regla general, debido a la intensa recirculación del mineral arrastrado, tarda mucho tiempo para que la concentración de trazador en la descarga sea igual a la que existía antes de añadirse el trazador, por lo que prolongar el muestreo hasta que esas concentraciones sean iguales exige dedicar una cantidad de recursos superior a las lógicas de acuerdo con el efecto que este hecho puede tener en la información obtenida.

Una solución aparentemente práctica de lograr para que las partículas del trazador y el material estén influenciadas por el mismo coeficiente de arrastre, es la de utilizar un trazador de forma líquida que se mezcle con una parte del material de alimentación y después se seque. Este método es peligroso por el hecho de que las partículas finas se aglomeran con facilidad al ser mojadas, lo cual puede alterar su granulometría, ya que la cantidad relativa de líquido que se incorpora a una partícula sólida es función de su superficie, por lo que la cantidad de trazador contenido en cada partícula no será proporcional a su masa y al secarse el trazador líquido, puede formarse una cantidad de partículas sólidas del trazador extraordinariamente fina en proporción muy superior a la del mineral.

#### Recomendaciones para determinar la DTR en hornos de procesamiento de materiales de baja granulometría

De acuerdo con lo planteado anteriormente en el trabajo, para poder efectuar la determinación del TR y DTR en un horno como el mencionado es necesario:

1. Prestar mucha atención a la selección del trazador. Si el horno procesa minerales es casi imposible conseguir con un costo razonable la cantidad de trazador necesaria que contiene un elemento que no exista en el material alimentado, por lo que se debe concentrar la atención en aquellos materiales cuyo elemento principal esté en poca proporción en el mismo.
2. Debe asegurarse que el trazador a usar tenga características físicas que no se diferencien mucho del mineral, sobre todo densidad y granulometría. Es normal tener que secar o secar y moler el trazador, siendo conveniente mezclarlo con cierta cantidad de mineral antes de alimentarlo.
3. Debe asegurarse la posibilidad de efectuar el análisis químico del elemento del trazador en el mineral, la precisión de este análisis que se emplea y qué concentración del trazador debe obtenerse.
4. Debe calcularse o estimarse el tiempo de residencia promedio del equipo por analogía con otros equipos o por cálculos. Para hornos rotatorios y hornos de hogares existen metodologías basadas en el primer caso en el ángulo de inclinación, ángulo de reposo del ma-

terial y revoluciones del equipo, y para el segundo caso en el número de dientes por hogar, la proyección del diente sobre el radio del horno y la distancia a transportar el mineral en cada piso u hogar.

5. Una vez determinado el tiempo de residencia se calculará la cantidad de trazador a usar teniendo en cuenta la concentración del trazador en el material a la salida. Es posible que la cantidad de trazador tenga que ajustarse con el fin de que la diferencia de concentración entre el mineral de salida del horno y el existente en el mineral sin adición de trazador sea suficiente para no tener una influencia del error de la determinación. Es decir, el promedio de diferencia de concentraciones no debe ser menor de 10 veces el error de la determinación. Como dato práctico se obtienen máximos cercanos a 0,5 % al añadir 2 % de la alimentación por hora en equipos de 1 h de TR.
6. Debe asegurarse que la adición de trazador puede realizarse con rapidez en un punto muy cercano a la alimentación.
7. La toma de muestras en la descarga del horno debe ser bien planeada. Asegurar que se coja una muestra suficientemente representativa, que se eviten confusiones en la identificación de las mismas y que el intervalo de muestreo sea constante. Una precaución útil es codificar los recipientes de la muestra antes de empezar, y mantener en el punto de muestreo una persona para tomar las muestras y otra para escoger el recipiente y fijar el instante de la toma de la muestra. El uso de recipiente metálico para la toma de la muestra ayuda a facilitar el trabajo de muestreo, e impide la anulación o afectación de una determinación por rotura de recipientes y pérdida de muestras.
8. Fundamental es la atención a los equipos de recuperación de polvo, hay que asegurarse de que en el momento de adicionar el trazador los equipos de recuperación de polvo trabajen normalmente con un mínimo de existencia de material recuperado, así como que sigan trabajando continuamente durante el período de realización del muestreo. Una afectación al funcionamiento de los equipos de recuperación de polvo, del sistema de alimentación del horno o del funcionamiento del mismo, provoca la anulación del trabajo realizado.
9. Debe tomarse toda la información posible, el estado del horno en el período de realización del muestreo, tonelaje alimentado, r.p.m., parámetros fundamentales del proceso, incidencias, etcétera, que permitan justificar que el trabajo se realizó con parámetros normales de operación.

Independientemente de todas las precauciones tomadas es normal que el gráfico obtenido tenga irregu-

laridades que lo diferencien de la curva teórica, como se verá en el ejemplo que se pone a consideración.

#### CONCLUSIONES

1. El método de trazadores por adición instantánea en la alimentación puede usarse con éxito para evaluar el TR del material procesado, tanto el promedio como su distribución.
2. La determinación de la DTR, aun en equipos en los cuales es conocido el TR promedio, es útil para estudiar el comportamiento del proceso.
3. La selección del trazador apropiado es fundamental para el desarrollo exitoso de la determinación del TR y DTR.
4. En los equipos con intensa recirculación de parte del material procesado con el flujo de salida, como hornos que procesan materiales con alto contenido de finos, reducción de minerales lateríticos, obtención de cemento, etcétera, es necesario tomar precauciones especiales para garantizar obtener conclusiones utilizables.
5. Al tomar las precauciones necesarias, la determinación del TR y DTR en cualquier equipo es realizable en cualquier empresa sin necesidad de acudir a centros especializados.

#### Ejemplo: Determinación del tiempo de residencia y DTR en un horno de hogares múltiples al usar como trazador hidróxido de calcio.

Se presenta un ejemplo realizado en un horno de hogares múltiples para minerales lateríticos, al usar como trazador hidróxido de calcio, así como los resultados del procesamiento de la información obtenida en la Tabla 1. El gráfico de concentración de trazador vs TR es bastante representativo del que es razonable obtener en estos casos. Para calcular el tiempo de residencia se empleó el método matemático al utilizar el programa Microsoft Excel. Un aspecto importante en este tipo de trabajo es el punto en que se considera terminado el muestreo, en que la cantidad necesaria de material para poder evaluar correctamente el comportamiento del equipo ya ha salido del horno. Para dar una idea de cómo la interrupción del muestreo antes de tiempo puede afectar los resultados, se presenta en la Tabla 2 la evaluación de la información con 2 puntos de corte adicionales: 105 y 140 min, además de los 200 min usados en el trabajo. Otro aspecto que puede afectar la precisión del trabajo es la concentración del elemento trazador, calcio, que existe en el mineral antes de añadir el trazador, pues los cálculos se realizan con la diferencia entre la concentración de calcio en el mineral alimentado y el contenido en el trazador, por lo que se dan los resultados al asumir que la concentración fuera de 0,05 en lugar de 0,061 %. Se presentan los gráficos de TR vs Concentración de trazador y los de DTR, ver Figura 4.

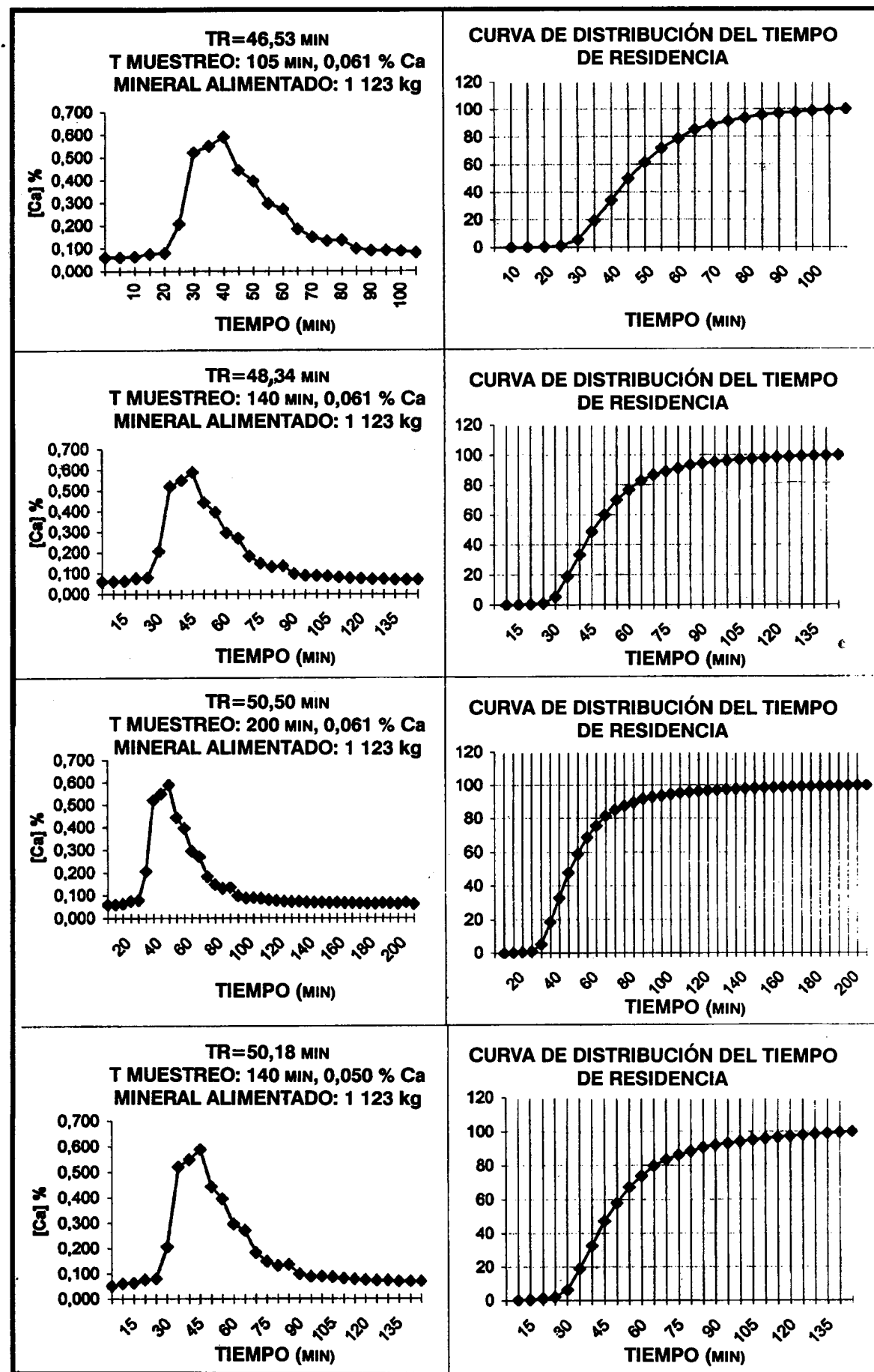


FIGURA 4. Gráficos de TR vs Concentración de trazador y DTR.

TABLA 1. Tiempo de residencia promedio del mineral en el horno. 1,11 r.p.m.

1	2	3	4	5	6	7
No.	Tiempo (min)	% Ca	% Ca real	ΣCa	% de distribución	[Ca]*TI
	0	0,061				
1	5	0,061	0,000	0,000	0,00	0,00
2	10	0,064	0,003	0,003	0,09	0,03
3	15	0,076	0,015	0,018	0,52	0,23
4	20	0,080	0,019	0,037	1,07	0,38
5	25	0,207	0,146	0,183	5,28	3,65
6	30	0,521	0,460	0,643	18,56	13,80
7	35	0,550	0,489	1,132	32,68	17,12
8	40	0,589	0,528	1,660	47,92	21,12
9	45	0,444	0,383	2,043	58,98	17,24
10	50	0,396	0,335	2,378	68,65	16,75
11	55	0,296	0,235	2,613	75,43	12,93
12	60	0,271	0,210	2,823	81,50	12,60
13	65	0,184	0,123	2,946	85,05	8,00
14	70	0,149	0,088	3,034	87,59	6,16
15	75	0,132	0,071	3,105	89,64	5,33
16	80	0,136	0,075	3,180	91,80	6,00
17	85	0,099	0,038	3,218	92,90	3,23
18	90	0,089	0,028	3,246	93,71	2,52
19	95	0,090	0,029	3,275	94,54	2,76
20	100	0,087	0,026	3,301	95,29	2,60
21	105	0,081	0,020	3,321	95,87	2,10
22	110	0,078	0,017	3,338	96,36	1,87
23	115	0,075	0,014	3,352	96,77	1,61
24	120	0,072	0,011	3,363	97,08	1,32
25	125	0,073	0,012	3,375	97,43	1,50
26	130	0,070	0,009	3,384	97,69	1,17
27	135	0,070	0,009	3,393	97,95	1,22
28	140	0,070	0,009	3,402	98,21	1,26
29	145	0,068	0,007	3,409	98,41	1,02
30	150	0,069	0,008	3,417	98,64	1,20
31	155	0,067	0,006	3,423	98,82	0,93
32	160	0,067	0,006	3,429	98,99	0,96
33	165	0,066	0,005	3,434	99,13	0,83
34	170	0,065	0,004	3,438	99,25	0,68
35	175	0,064	0,003	3,441	99,34	0,53
36	180	0,067	0,006	3,447	99,51	1,08
37	185	0,066	0,005	3,452	99,65	0,93
38	190	0,064	0,003	3,455	99,74	0,57
39	195	0,069	0,008	3,463	99,97	1,56
40	200	0,062	0,001	3,464	100,00	0,20
3,464				174,93		
$TR = 174,93 / 3,464 = 50,50 \text{ min}$						

Nota: El valor reportado de % Ca para tiempo 0; 0,061, es promedio de 4 muestras tomadas antes de introducir el trazador.

**Leyenda**

Columna 1: Número de la muestra.  
 Columna 2: Tiempo de muestreo a partir de la introducción del trazador.  
 Columna 3: % de calcio reportado por el Laboratorio en la muestra.

Columna 4: % de calcio en el mineral debido al trazador, Ct - Co (columna 3 - Concentración en tiempo 0: 0,061).  
 Columna 5: Acumulativo (Σ de valores de la columna 3).  
 Columna 6: % de distribución del acumulativo, valor de la columna 4 entre la suma total (3,464).  
 Columna 7: Producto de los valores de la columna 2 por la 4.

TABLA 2. Resultados obtenidos al efectuar los cálculos con los datos correspondientes a distintos tiempos de muestreo y diferencia entre los valores de la concentración en el material de base

Tiempo de muestreo, min	105	140	200	140
% Ca en el mineral	0,061	0,061	0,061	0,050
Tiempo residencia	46,53	48,34	50,50	50,18
Salida del mineral: 10 %	26,61	26,70	26,79	26,43
Salida del mineral: 50 %	40,01	40,54	40,91	41,28
Salida del mineral: 90 %	67,43	71,96	75,98	78,46

Acortar el tiempo de muestreo tiene influencia notable solamente en la evaluación del comportamiento del material que está mucho tiempo en el horno. En la evaluación de la cantidad de material que está poco tiempo en el horno, 10 y 50 %, influye poco. Sin embargo, en el cálculo de TR medio, es bastante apreciable. Una diferencia de solamente 0,011 en el contenido del trazador en el mineral, provoca un aumento apreciable en los tiempos de abandono de 50 y 90 % del material y muy poca disminución del tiempo de salida del primer 10 %.

**BIBLIOGRAFÍA**

ALEPUZ, H.: *Balace de materiales y energía, Hornos de Reducción*, Informe Técnico, Empresa «René Ramos Latour», Nicaro, 1987.  
 —: *Prueba de los minerales de las Camariocas, Muestra no. 1*, Informe Técnico, Empresa «René Ramos Latour», Nicaro, 1997.  
 ALEPUZ, H. y G. FONT: *Reductibilidad de los minerales de la ECECG*, Informe Técnico, Empresa «René Ramos Latour», Nicaro, 1990.  
 OCTAVE, LEVENSPIEL: *Ingeniería de las reacciones químicas*, Ed. Pueblo y Educación, 1979.  
 Perry's *Chemical Engineers Hand Book*, McGraw - Hill Book Co., 6ta edición, 1984.  
 REZVANOV, G. y A. ROVIRA: *Aumento de productividad en Hornos de Reducción*, I y II parte, Informe Técnico, Empresa «René Ramos Latour», Nicaro, 1979.