

# ASPECTOS GENERALES DE LAS APLICACIONES DE TRAZADORES EN LA INDUSTRIA - BENEFICIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS

Ing. Antonio C. Castagnet (IPEN/CNEN-SP, BRASIL)

IPEN-DOC-  
5293

## 1.0.0 FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

En términos generales, el método de trazadores es una técnica para obtener información de un sistema o parte de un sistema, mediante la observación del comportamiento de una substancia específica, - el trazador-, que ha sido agregado al proceso. Generalmente, el método implica marcar con el trazador, para hacerla fácilmente identificable, una fase o parte determinada del sistema denominada material marcado.

Existen dos requisitos fundamentales para el trazador:

1. Debe comportarse exactamente como el material marcado, en la fase del proceso que se desea investigar.
2. Debe poseer una propiedad particular que lo distinga del material marcado, de tal forma que pueda ser fácilmente detectado en la presencia de otras substancias.

La primera condición puede requerir identidad física y química del trazador con el producto marcado, o tan sólo una de ellas, dependiendo del parámetro medido.

En experimentos con trazadores no radiactivos se han empleado satisfactoriamente algunas propiedades físicas tales como color, índice de refracción, densidad y conductividad de aditivos. Sin embargo, los radioisótopos o radiotrazadores son los trazadores mas universales y prácticos. Ello se debe a las siguientes ventajas principales:

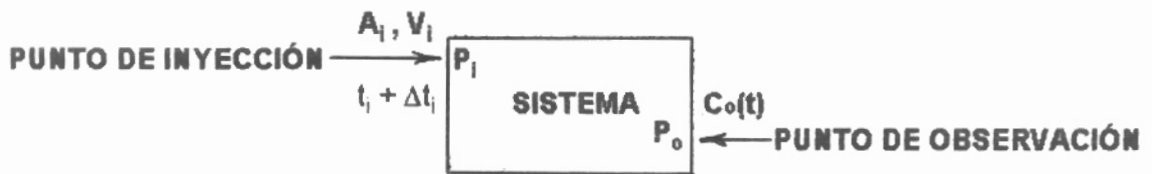
- a) la identidad entre el producto marcado y el trazador puede lograrse a nivel atómico (un átomo del trazador o isótopo radiactivo se comportará igual que un átomo estable del mismo elemento);
- b) la detección del radiotrazador puede alcanzar también niveles atómicos (por ejemplo, los radioisótopos de vida corta, con períodos de 100 días o menos, pueden ser detectados en cantidades tan pequeñas como  $10^{-16}$  o  $10^{-17}$  gramos).

Como todos los materiales estan compuestos por átomos y existen uno o mas isótopos radiactivos para la mayoría de los elementos, se puede, con apropiados métodos de síntesis, preparar radiotrazadores para cualquier producto, desde substancias puras hasta moléculas complejas como las del petróleo y sus derivados petroquímicos.

Prácticamente los únicos trazadores alternativos que compiten con los radioelementos, en este aspecto relacionado con el requisito de identidad, son los isótopos estables. No obstante, cuando existe la posibilidad de elección entre uno u otro, se opta por los radiotrazadores en virtud de su mayor facilidad de medición. Además de las dos ventajas ya enumeradas los radioisótopos tienen otras características que contribuyen a su condición de trazadores óptimos:

- pueden detectarse selectivamente por discriminación del tipo y energía de la radiación emitida;
- la medición resulta fácil y exenta de ambigüedad;
- permiten predecir la precisión de los resultados, por el simple cálculo de la incertidumbre estadística asociada a las mediciones de radiactividad.

En general, un experimento con trazadores consiste en inyectar en un punto  $P_i$  del sistema, entre  $t_i$  y  $t_i + \Delta t_i$  cierta actividad  $A_i$  incorporada a un volumen  $V_i$  de producto marcado y observar la aparición y concentración de la actividad en función del tiempo en un punto  $P_o$ . Esta situación está representada en el diagrama en bloques de la Fig. 1.



**Fig. 1.-** Esquema de un experimento con radiotrazador

El sistema en estudio puede ser un proceso cerrado (mezcla por tandas, recirculación de productos o simplemente material inmobilizado) o un proceso continuo cualquiera (circulación de fluidos por tuberías o a través de un reactor). Las funciones:

$$y = \frac{dA_i}{dt}$$

o, cuando  $\Delta t_i$  tiende a cero,

$$y = A_i$$

representan un estímulo aplicado al sistema en  $P_i$  y  $x = C_o(t)$  su respuesta observada en el punto  $P_o$ . En ingeniería de procesos esas funciones se denominan, respectivamente, función de entrada y función de salida. El sistema físico materializado por la sustancia que evoluciona y las instalaciones del proceso, se puede considerar como un operador matemático que transforma una función de entrada en una función de salida. Los radiotrazadores permiten obtener con relativa facilidad las funciones de salida correspondientes a diferentes funciones de entrada y, con ello, determinar ciertos parámetros del proceso o verificar la validez de los modelos matemáticos utilizados para su descripción. De hecho, las técnicas de radiotrazadores pueden contribuir eficazmente a la selección y establecimiento de tales modelos.

## 2.0.0 BENEFICIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS

En la Tabla anexa, extraída de la "TECHNICAL REPORTS SERIES No. 316" del OIEA ("GUIDEBOOK ON RADIOISOTOPE TRACERS IN INDUSTRY") se resumen algunos ejemplos de aplicaciones en la ICI con mención de los resultados obtenidos.

## EJEMPLOS DE APLICACIONES DE TRAZADORES EN LA IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES (ICI)

### 1) SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERÍA DE PROCESOS

Aplicación	Método	Comentarios
MEDICIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE AGUA EN LA ALIMENTACIÓN DE UNA CALDERA PARA RECUPERACIÓN DE CALOR.	TÉCNICA DE MEDICIÓN DE TIEMPO DE TRÁNSITO CON $^{24}\text{Na}$ EN LA FORMA DE SOLUCIÓN ACUOSA DE CARBONATO DE SODIO.	<p>LAS MEDICIONES DE CAUDALES EN LAS SALIDAS DE LA CALDERA MOSTRARON QUE LA MALA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN ERA LA CAUSA DEL SECA-DO DE TUBOS.</p> <p>NUEVAS MEDICIONES CONFIRMARON EL ÉXITO DE MODIFICACIONES DEL PROCESO PARA PRODUIR DISTRIBUCIÓN UNIFORME DEL FLUJO.</p>
CORTOCIRCUITO ("BY-PASS") INTERNO EN UN INTERCAMBIADOR, ENTRE LA ALIMENTACIÓN Y EL EFLUENTE.	PULSO DE INYECCIÓN DE $^{41}\text{Ar}$ EN LA ENTRADA. UN DETECTOR EXTERNO A LA SALIDA DEL GAS EFLUENTE REGISTRÓ LA DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA.	LA PRESENCIA DE UN PICO SUBSIDIARIO EN LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN INDICÓ QUE 5 % DE LA ALIMENTACIÓN ERA CORTOCIRCUITADO EN EL INTERCAMBIADOR. LA ECONOMÍA FUÉ ESTIMADA EN £300.000.
INTRUSIÓN DE LÍQUIDO EN EL VAPOR DENTRO DE UNA CALDERA PARA RECUPERAR CALOR.	$^{24}\text{Na}$ EN LA FORMA DE CARBONATO DE SODIO FUÉ INYECTADO EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA. DETECTORES PORTÁTILES EXTERNOS FUERON UTILIZADOS PARA DETERMINAR SI HABÍAN DEPÓSITOS DE SODIO ACTIVO EN LAS LÍNEAS DE SALIDA DEL VAPOR, ORIGINADOS POR PÉRDIDAS DE AGUA	<p>LA PÉRDIDA DE AGUA EN LA CALDERA FUÉ POSITIVAMENTE IDENTIFICADA.</p> <p>UN ENSAYO ADICIONAL CON TRAZADOR SIRVIÓ PARA CUANTIFICAR EL CAUDAL DE LA PÉRDIDA.</p>

## 1) SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INGENIERÍA DE PROCESOS (Cont.)

Aplicación	Método	Comentarios
DETECCIÓN DE SUPUESTAS PÉRDIDAS, EN EL INTERIOR DE UN HORNO, DEL MEDIO USADO COMO TRANSFERIDOR DEL CALOR	<sup>82</sup> Br EN LA FORMA DE PARADIBROMOBENZENO FUÉ INYECTADO EN EL MEDIO TRANSFERIDOR DEL CALOR. EL GAS EFLUENTE DEL HORNO FUÉ MUESTREADO PARA DETECTAR ACTIVIDAD.	NO SE DETECTARON PÉRDIDAS EN NINGUNA ETAPA SUBSIGUIENTE DEL PROCESO, LO QUE EVITÓ LA NECESIDAD DE PARAR EL HORNO. LOS BENEFICIOS FUERON ESTIMADOS EN £100.000
PÉRDIDAS A TRAVÉS DE UN INTERCAMBIADOR PETRÓLEO-SOLVENTE ("OIL SOLVENT EXCHANGER")	SE INYECTÓ <sup>85</sup> Kr EN LA SECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DEL INTERCAMBIADOR. MUESTRAS DEL LADO DE BAJA PRESIÓN FUERON SOMETIDAS A ENSAYOS DE RADIOACTIVIDAD.	FUÉ DETECTADA UNA PÉRDIDA DE 1.4 %, IDENTIFICÁNDOSE LA NECESIDAD DE ACCIONES CORRECTIVAS.
BLOQUEO INTERNO DENTRO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO ("QUENCH TOWER")	<sup>82</sup> Br EN LA FORMA DE BROMO DIFENIL FUÉ USADO PARA MARCACION DEL PETRÓLEO DE ENFRIAMIENTO. EL AVANCE DEL PETRÓLEO DESDE EL CUERPO DE LA COLUMNA HASTA EL COLECTOR DE SALIDA FUÉ SEGUIDO UTILIZÁNDOSE DETECTORES EXTERNOS DE RADIACIÓN.	FUERON IDENTIFICADAS POSITIVAMENTE, PÉRDIDAS INTERNAS ENTRE 0,8 % Y 1,7 %.
MEDICIÓN DE RETENCIÓN DE LÍQUIDOS EN LOS GASES DE TOPE DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN.	<sup>66</sup> Mn COMO NAFTENATO FUE INYECTADO EN EL LÍQUIDO DE ALIMENTACIÓN DE LA COLUMNA. LOS GASES DEL TOPE FUERON MUESTREADOS Y SU EVENTUAL RADIOACTIVIDAD MEDIDA.	EL ARRASTRE DE LÍQUIDO FUÉ POSITIVAMENTE CONFIRMADO. ENSAYOS POSTERIORES A MODIFICACIONES DEL PROCESO CONFIRMARON QUE EL PROBLEMA HABÍA SIDO ERRADICADO. LA ECONOMÍA FUÉ ESTIMADA EN £500.000.

## 2) ESTUDIOS DE LA EFICIENCIA DE PROCESOS

Aplicación	Método	Comentarios
BALANCE DE MASA A TRAVÉS DE UNA PLANTA DE AMONIA.	MEDICIONES DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE LOS FLUJOS DE MATERIA PRIMA DE ALIMENTACIÓN Y PRODUCTOS, USANDO $^{86}\text{Kr}$ COMO TRAZADOR DEL GAS Y $^{24}\text{Na}$ (CARBONATO) PARA LAS CORRIENTES DE LÍQUIDO.	LAS MEDICIONES FACILITARON CÁLCULOS PRECISOS PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO DEL DESEMPEÑO DE LA PLANTA. ÁREAS DE INEFICIENCIA FUERON IDENTIFICADAS.
MEDICIONES DE CAUDAL PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE TURBINAS DE VAPOR, EN UNA PLANTA DE AMONIA.	MEDICIONES DE TIEMPO DE TRÁNSITO USANDO $^{86}\text{Kr}$ COMO TRAZADOR.	FUÉ IDENTIFICADA UNA POSIBILIDAD DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE UN COMPRESOR DE GAS.
DEPOSICIÓN DE SÓLIDOS EN UN REACTOR TUBULAR, INVESTIGADA POR MEDICIÓN DEL TIEMPO MEDIO DE RESIDENCIA ("MEAN RESIDENCE TIME DISTRIBUTION" - MRT)	UN PULSO DE $^{82}\text{Br}$ COMO PARADIBROMOBENZENO, FUE INYECTADO EN LA ALIMENTACION DEL REACTOR Y EL MRT FUE MEDIDO. ESTE VALOR JUNTO CON EL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN, PERMITIÓ CALCULAR EL VOLUMEN LIBRE DEL REACTOR.	MIDIENDO EL VOLUMEN LIBRE DEL REACTOR POR LA TÉCNICA DEL MRT, DESPUÉS DE VARIOS TRATAMIENTOS CON SOLVENTE, SE PUEDE SELECCIONAR EL MEJOR MÉTODO PARA REMOVER DEPÓSITOS.
DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MEZCLA EN UN TANQUE PARA SUMINISTRO DE NAFTALENO.	$^{82}\text{Br}$ COMO PARADIBROMOBENZENO FUE INYECTADO DENTRO DEL TANQUE Y SE MIDIÓ LA ACTIVIDAD DE MUESTRAS EXTRAIDAS A INTERVALOS REGULARES. EL TIEMPO PARA ALCANZAR UN NIVEL CONSTANTE DE ACTIVIDAD EN LAS MUESTRAS, FUE REGISTRADO.	LOS RESULTADOS MOSTRARON QUE EL TIEMPO DE MEZCLA ERA MUCHO MAS CORTO DE LO SUPUESTO. CONSIGUIERONSE SIGNIFICATIVOS AHORROS DE TIEMPO Y ENERGÍA ASOCIADOS CON LA OPERACIÓN DE MEZCLA.

## 2) ESTUDIOS DE LA EFICIENCIA DE PROCESOS (Cont.)

Aplicación	Método	Comentarios
MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE DEPÓSITOS DE LAMA EN UN TANQUE DE PETRÓLEO CRUDO.	UNA CANTIDAD MEDIDA DE $^{82}\text{Br}$ COMO PARADIBROMOBENZENO FUÉ MEZCLADA CON EL PETRÓLEO. CON BASE EN LA DILUCIÓN DEL TRAZADOR EL VOLUMEN DE PETRÓLEO FUÉ CALCULADO. EL VOLUMEN TOTAL (PETRÓLEO + LAMA) SE DETERMINÓ MEDIANTE UNA MEDICIÓN DEL NIVEL DE PETRÓLEO. POR DIFERENCIA SE CALCULÓ EL VOLUMEN DE LAMA.	LAS MEDICIONES FACILITARON LA DETERMINACIÓN PRECISA DEL REQUERIMIENTO DE LIMPIEZA QUÍMICA CON ANTECEDENCIA AL DRENAJE DEL TANQUE. ASÍ, FUÉ OBTENIDO UN MEJOR PLANEAMIENTO Y CONTROL DE COSTOS DE LA OPERACIÓN DE LIMPIEZA.

## 3) CALIBRACIÓN "IN SITU"

Aplicación	Método	Comentarios
ESTUDIO DE TRAYECTORIAS DE FLUJO EN UN REACTOR CATALÍTICO DE CARGA MÓVIL.	LAS MICROESFERAS DEL CATALIZADOR FUERON MARCADAS CON $^{140}\text{La}$ EN LA FORMA DE ACETATO. LAS CURVAS DE RTD SE DETERMINARON A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL REACTOR MEDIANTE DETECTORES EXTERNOS DE RADIACIÓN.	LOS DATOS MOSTRARON QUE CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN CONDUCIAN A RESTRICCIONES EN LA SECCIÓN DE REACCIÓN, IDENTIFICÁNDOSE LA CRITICIDAD DE LA CAIDA DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL RECIPIENTE.
CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE CAUDAL DE GAS YA INSTALADOS.	TÉCNICA DE LAS CUENTAS TOTALES, CON $^{86}\text{Kr}$ COMO TRAZADOR.	SE IDENTIFICARON SIGNIFICATIVOS ERRORES EN LAS LECTURAS CON PLACAS DE ORIFICIO Y, CON BASE EN ESOS RESULTADOS, LOS MEDIDORES FUERON SUBSTITUIDOS.
MEDICIONES DE CAUDAL DE VAPOR.	MÉTODO DE LAS CUENTAS TOTALES USANDO AGUA TRITIADA COMO TRAZADOR.	ESTA TÉCNICA MIDE EL CAUDAL TOTAL FORMADO POR LOS FLUJOS DE VAPOR Y AGUA. LA DILUCIÓN DE TRITIO ES EL ÚNICO MÉTODO CONFIABLE PARA MEDICIONES DE CAUDAL DE VAPOR HÚMEDO.

#### 4) .SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Aplicación	Método	Comentarios
MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE $\text{NO}_x$ A TRAVÉS DE UNA CHIMENEA.	MEDICIÓN DE TIEMPO DE TRÁNSITO CON $^{41}\text{Ar}$ COMO TRAZADOR.	UNA VÁLVULA "BY-PASS" DEFECTUOSA FUÉ IDENTIFICADA COMO LA RUTA DE PÉRDIDA. LA ECONOMÍA FUÉ ESTIMADA EM £50.000.
INSPECCIÓN DE EFLUENTES EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS.	LA TÉCNICA DE DILUCIÓN CONTINUA FUÉ USADA PARA MEDIR LOS CAUDALES DE DRENAJE USANDO COMO TRAZADOR UNA SOLUCIÓN DE $^{24}\text{Na}$ (CARBONATO).	MÉTODO RUTINERO PARA FINES DE CONTROL AMBIENTAL. CAUDALES DE $10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ FUERON MEDIDOS FACILMENTE.
MEDICIONES DE CORROSIÓN EN TUBERIAS PARA ÁCIDO SULFÚRICO.	LA SUPERFICIE INTERNA DE UNA CURVA DEL TUBO FUÉ ACTIVADA HASTA UNA PROFUNDIDAD DE $100 \mu\text{m}$ USANDO UN HAZ DE PROTONES. CON DETECTORES MONTADOS EXTERNAMENTE SE VERIFICÓ LA PÉRDIDA DE ACTIVIDAD, PARA PODER DEDUZIR ASÍ EL DESGASTE DEL METAL.	ESTE ES UN EJEMPLO DE UNA TÉCNICA CON MUCHAS APLICACIONES POTENCIALES. LA ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA DE PIEZAS DE ENSAYO PUEDE SER USADA EN APLICACIONES QUE REQUIERAN MENOR SENSIBILIDAD.