

Medición de Flujos en ductos cerrados



Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda. ◀

Trazadores y sus aplicaciones

Importancia de contar con mediciones precisas

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo

Medición de Caudal por trazador fluorescente

Determinación de diámetro interno por el uso de ambos trazadores

Sobre Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

- Trazado Nuclear e Ingeniería fue fundada en el año 2012 con el objetivo de entregar **mediciones confiables** en armonía con el medio ambiente
- El objetivo de los servicios es entregar información útil para mejorar los procesos y operaciones
- La empresa para estos fines utiliza la técnica de **trazadores**, la cual fue desarrollada por los socios durante sus 25 años de trayectoria
- La industrias en donde se ha desarrollado en procesos industriales, mineros, metalúrgicos, energéticos, recursos hídricos y ambientales
- Los clientes que más demandan los servicios son los de minería



Aseguramiento de la confiabilidad de los resultados entregados por Trazado Nuclear

Metodología

Metodología certificado con más de 40 años. Organización Internacional de Estandarización (1977) Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part VII : Transit time method using radioactive tracers). ISO 2975/VII:1977

Experiencia de los socios por más de 30 años en la tecnología en Chile

Metodología certificada con un error 0,5%

Autorizaciones de Operación

AUTORIZACIÓN DE OPERACIÓN: "Instalación radiactiva de primera categoría. Laboratorio Móvil para Trazadores Radioactivos".

AUTORIZACIÓN DE IMPORTACIÓN: "Autorización de importación de materiales radioactivos y de equipos asociados a instalaciones radioactivas de primera categoría".

AUTORIZACIÓN DE TRANSPORTE: "Autorización para transporte de material radiactivo asociado a instalaciones radioactivas de primera categoría".

AUTORIZACIÓN DE DESEMPEÑO DE LOS OPERADORES: "Autorización de desempeño en instalaciones radioactivas de primera categoría, aplicación de trazadores radioactivos en procesos industriales, mineros y naturales".

Certificaciones de calidad

Certificación ISO 9001:2008

Certificación en sistema de calificación de empresas proveedoras de bienes y servicios SICEP.

Certificaciones de equipamiento e insumos

Compra de equipos a proveedores certificados y calibración periódica de los mismo

Compra de trazador en organismo

Tenemos clientes en diversas industrias que han confiado en nuestros servicios

Nuestros clientes han confiado en nuestro servicios, ya que se adaptan a las condiciones específicas de cada empresa, caracterizando en forma eficiente los procesos que se requiera estudiar:

Algunos de nuestros Clientes



MINERA MICHILLA S.A.



- Contrato trimestral
- Mediciones flujos superficiales y ductos cerrados



Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones ◀

Importancia de contar con mediciones precisas

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo

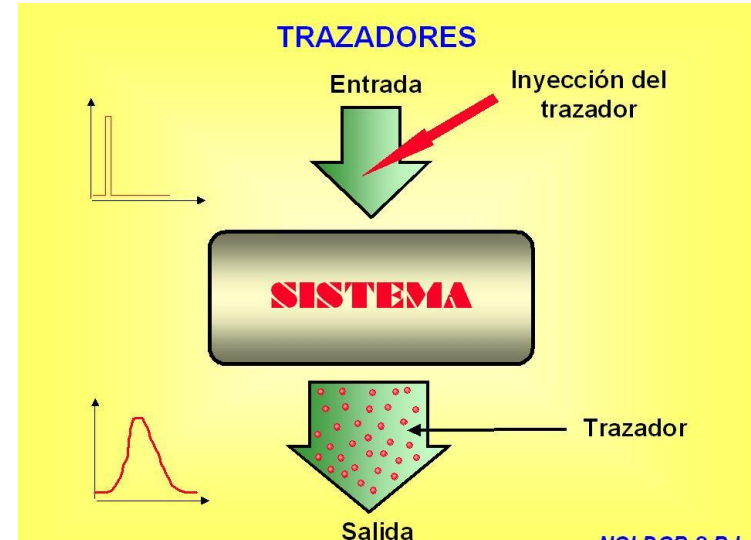
Medición de Caudal por trazador fluorescente

Determinación de diámetro interno por el uso de ambos trazadores

¿Qué son los trazadores?

Definición de Trazador

- Los trazadores en general son utilizadas para caracterizar sistemas y procesos
- Las observaciones se realizan midiendo la cantidad de trazador cuando pasa por un punto del proceso, y nos entrega información detallada de su trayecto.
- Existen distintos tipos de trazadores (con principios propios), los cuales son seleccionados a partir de sus características específicas en cada proceso



Aplicaciones realizadas por Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

1- Procesos industriales:

- Trazado y detección de fugas en tuberías enterradas de transporte de líquidos y gases.
- Asesoría técnica en limpieza de tuberías mediante la marcación de raspadores.
- **Medición de velocidad y determinación de caudales en:**
 - **Tuberías de transporte de agua potable e industrial** **Foco de la presentación**
 - Tuberías de transporte de gases e hidrocarburos
 - Canaletas de relaves, etc.

2- Medición en flujos naturales:

- Flujos en Ríos y Canales
- Velocidad y dirección de flujo de napas subterráneas
- Dispersión de contaminantes
- Dispersión y Difusión en Emisarios submarinos
- Determinación de filtraciones en estanque y/o represas hidráulicas

3- Distribución de Tiempos de Residencia de sólidos, líquidos y gases:

- Molinos de bola y barra
- Espesadores
- Celdas y columnas de flotación
- Pilas de lixiviación

Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

Importancia de contar con mediciones precisas ◀

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo

Medición de Caudal por trazador fluorescente

Determinación de diámetro interno por el uso de ambos trazadores

Importancia de contar con mediciones precisas de flujos

Importancia de contar con mediciones precisas

Es fundamental para el control de proceso moderno es que los flujos importantes sean medidos con precisión. La calidad de la medición es importante para:

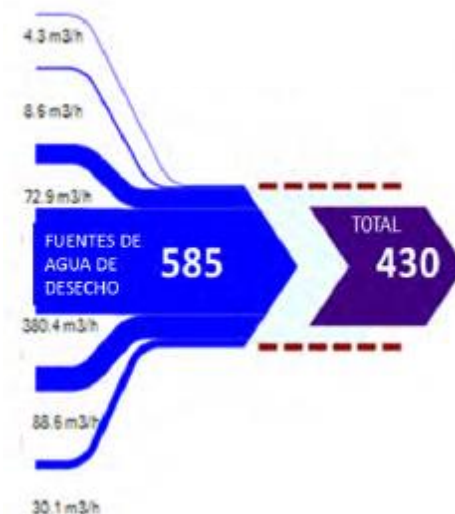
- Evaluación y control ambiental
- Optimización de procesos
- Balances de masas de agua de proceso
- El recurso es muy escaso o muy caro

Ejemplos de problemas de balances de masa



Balance hídrico mensual de una planta de generación de energía muestra el efecto de los errores de medición.

Situación típica de incertidumbre en una industria si no se han tomado medidas especiales para asegurar la calidad de la medición

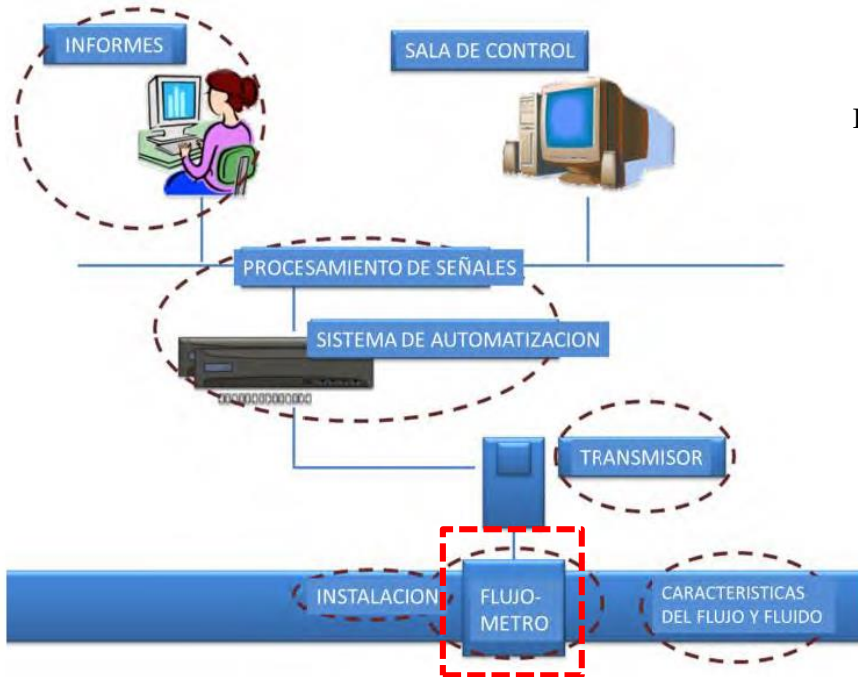


Ejemplo diferencias en balances de masas

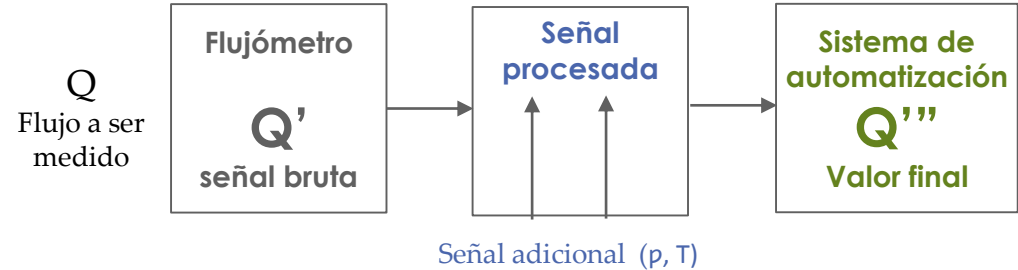
Principales fuentes de errores de medición

Aseguramiento de calidad de la medición

El enfoque tradicional es enviar las mediciones de flujo crítico a calibración en laboratorio y luego tratar de controlar las condiciones de medición en terreno para que se ajusten a las especificaciones. Sin embargo, existe un gran número de cosas que pueden resultar mal cuando se instala un medidor en terreno y se pone en uso.



Las principales fuentes de errores de medición surgen de la cadena de medición



$$e_{tot} = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}$$

Estos son algunos de fuentes de incertidumbre

- e1 = compensación (medidas y algoritmos)
- e2 = instalación (mecánica y electrónica)
- e3 = propiedades del fluido
- e4 = perfil de flujo no ideal
- e5 = estabilidad en los instrumentos eléctricos
- e6 = transporte y procesamiento de la señal
- e7 = tolerancia a la automatización de los componentes

Calibraciones en terreno

Calibración en laboratorio vs Calibración en terreno

- La **calibración** determina el funcionamiento de un medidor comparado con un estándar aceptado, lo que generalmente se conoce como **mediciones primarias** (peso, tiempo, temperatura).
- **La calibración en terreno tiene ventaja que ahorra tiempo y dinero en el traslado de instrumentos y asegura que el dispositivo sea probado en las condiciones donde se ha instalado.** Además cada calibración de laboratorio debe ser verificada en terreno el correcto funcionamiento.

Tipos de calibración en terreno tradicionales

- Medición del **nivel de estanque o el pesaje de líquidos** utilizando un camión cuba y una romana es un método comúnmente utilizado para verificar la medición del flujo. Es casi imposible de implementar cuando se trata de flujos mayores.

Método del tiempo de tránsito por medio de trazador

- Tiene la ventaja de que no se requiere hacer modificaciones a las tuberías de proceso ni a la operación.
- Cubre un rango muy amplio de velocidades de flujo, con una incertidumbre muy baja y muy efectivo
- La incertidumbre de calibración validada ha sido 0,5% tanto para flujos líquidos como de gas



Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

Importancia de contar con mediciones precisas

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo ◀

Medición de Caudal por trazador fluorescente

Determinación de diámetro interno por el uso de ambos trazadores

Ventajas de utilizar trazador radiactivo en ductos cerrados

- La inyección de trazador es casi instantánea, por lo que se requiere sólo una pequeña cantidad de trazador radiactivo para realizar las mediciones
- Por lo anterior la concentración del trazador es tan baja en el fluido, que está bajo los niveles de agua potable
- Capacidad de medición sin perturbaciones relacionadas a procesos de muestreo, usando sensores no invasivos localizados directamente en las tuberías

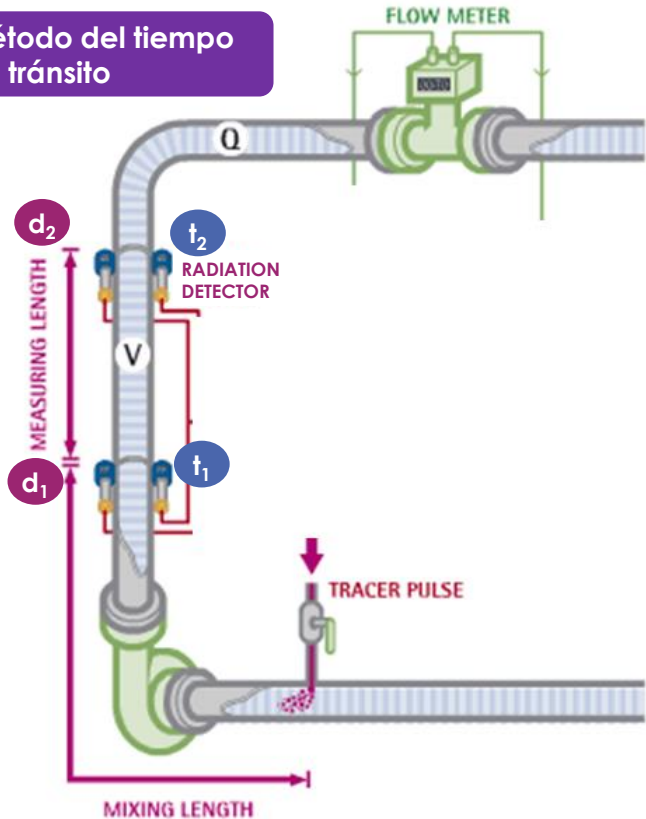
- **Rápido**
- **Limpio**
- **Eficiente operacionalmente**
- **Seguro**



Determinación de Velocidad de flujo en cañerías mediante trazador radiactivo

- Este método se realiza inyectando un trazador radiactivo en una sección entre dos puntos de una tubería cuya distancia es conocida.
- El tiempo de tránsito se determina por la diferencia entre los tiempos de llegada del trazador radiactivo a cada uno de los puntos, los cuales son medidos por medio de detectores de actividad localizados en cada posición de dicha tubería.

Método del tiempo de tránsito



Ec. Distribución tiempo de residencia

$$t_{\text{exp}} = \frac{\int t C(t) dt}{\int C(t) dt}$$

t_{exp} : tiempo medio experimental.

t : tiempo al cual se recolecta la muestra.

$C(t)$: concentración de trazador en el tiempo t .

Determinación velocidad de flujo

$$V = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

V : velocidad del fluido

$d_2 - d_1$: distancia entre ambas sondas de detección

t_1 : tiempo medio de residencia del punto de medición 1

t_2 : tiempo medio de residencia del punto de medición 2

Determinación del caudal de Paso

$$Q = V * \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2$$

V : velocidad del fluido

d : diámetro de la tubería

Sistema hidráulico de inyección del Trazador en sentina



Inyección del Trazador Radiactivo en sentina



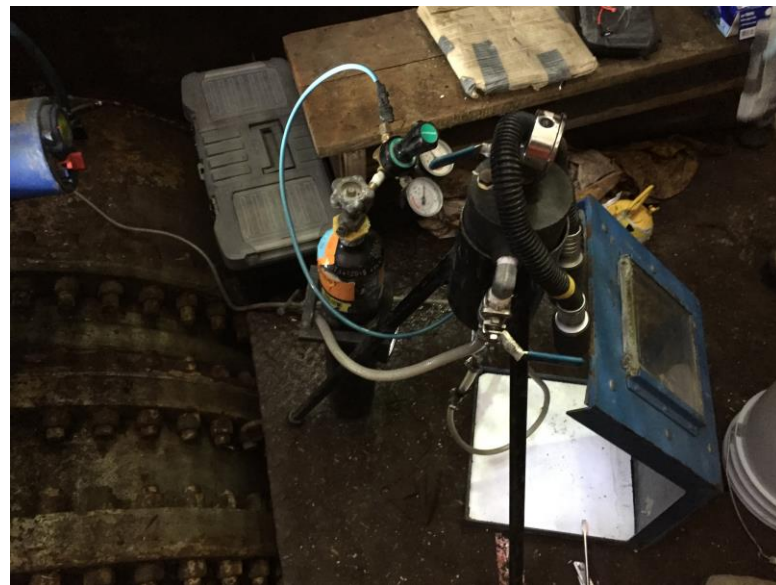
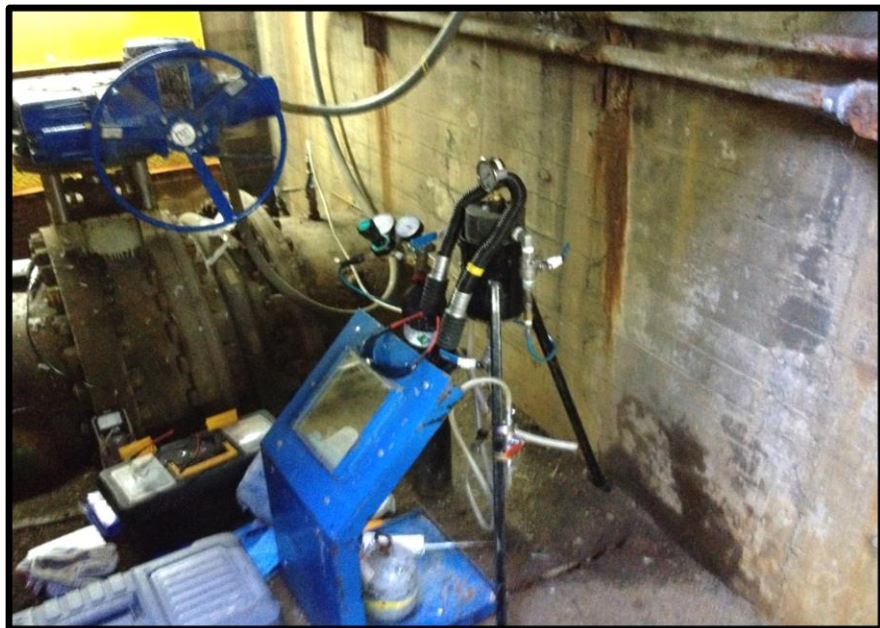
Detector del trazador en Ducto



Laboratorio Móvil y sistema de adquisición de datos



Sistema hidráulico de inyección del Trazador a presión



Inyección del Trazador Radiactivo a presión



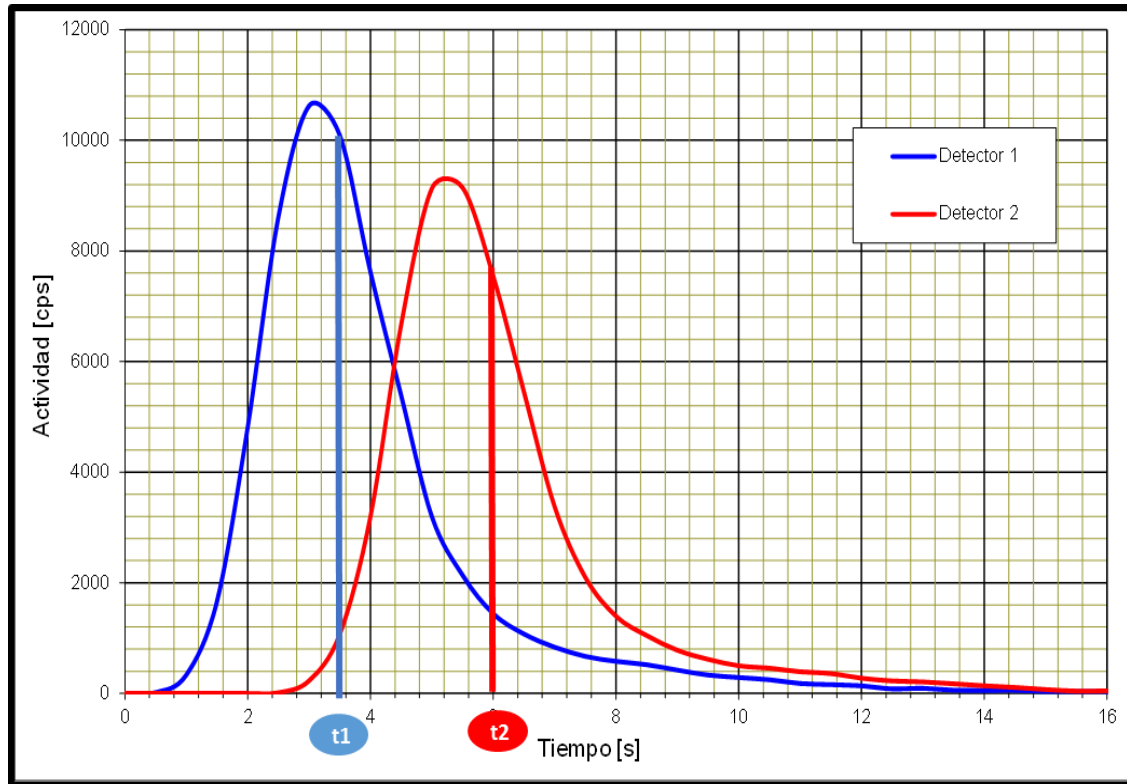
Detector del trazador en Ductos



Laboratorio Móvil y sistema de adquisición de datos



Resultados Obtenidos: tiempo de paso del trazador en la tubería



Distancia conocida

$$V = \frac{d2 - d1}{t2 - t1}$$

$$Q = V * \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2$$

Ejemplo: Validación de Flujiómetros para Balance Metalúrgico en Minera, usando Trazadores Radiactivos

OBJETIVOS

- Conocer el flujo de las soluciones en cada uno de los procesos de obtención del cobre para mejorar y optimizar los procesos productivos.
- Se realizó una evaluación hidráulica de velocidades de fluido en diversas tuberías de transporte de soluciones de las instalaciones de una Minera, de manera de contrastar la información en línea de instrumentación y calibrarlos para fines de balances de flujo de soluciones y metalúrgicos más confiables.

Inyección del trazador



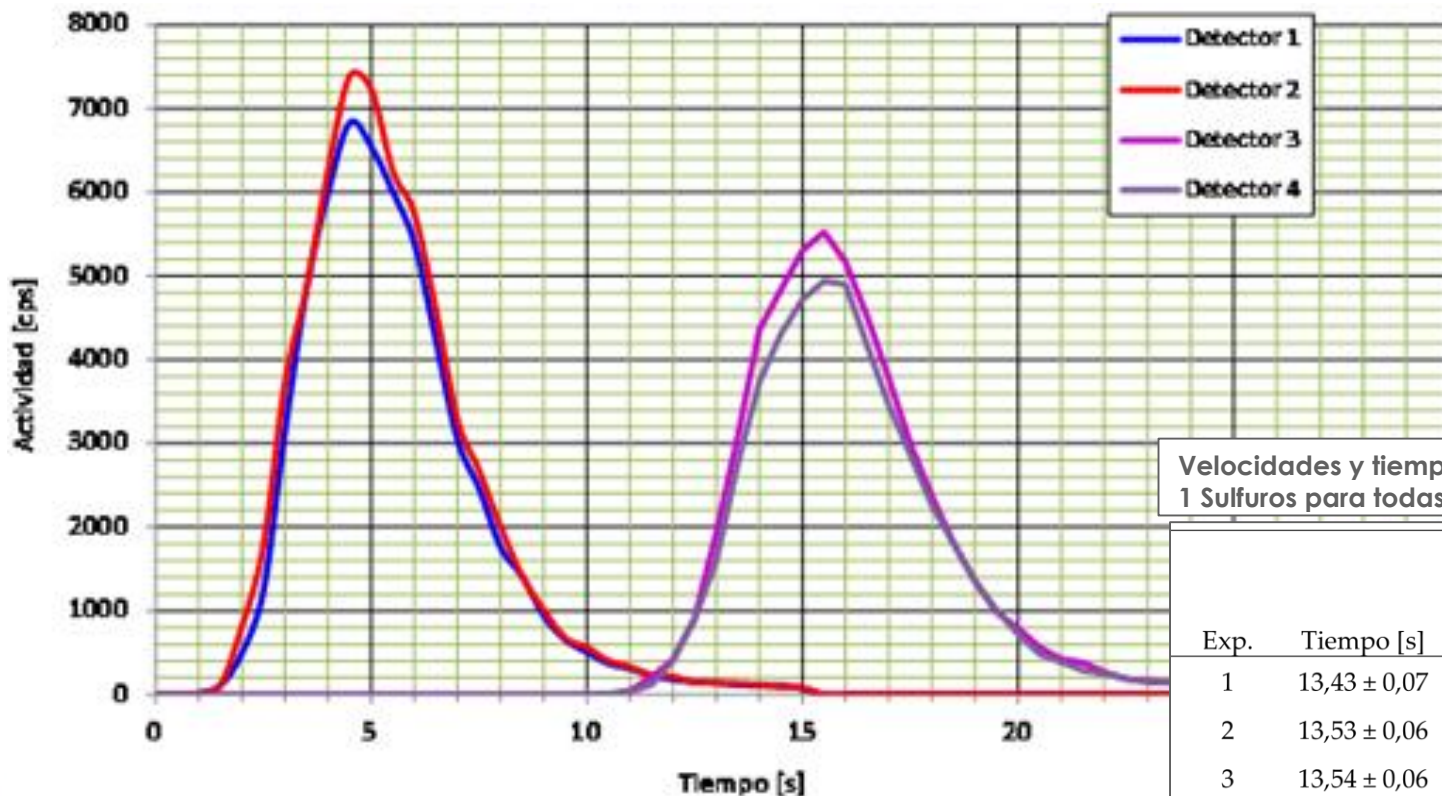
Detección del trazador



Laboratorio Móvil



Gráfico el tiempo de tránsito entre los detectores para la solución rica 1



Velocidades y tiempos de tránsito en solución Refino 1 Sulfuros para todas las experiencias realizadas.

Exp.	Tiempo [s]	Distancia entre detectores [m]	Velocidad de Flujo [m/s]
1	13,43 ± 0,07	17,37	1,29 ± 0,01
2	13,53 ± 0,06	17,37	1,28 ± 0,01
3	13,54 ± 0,06	17,37	1,28 ± 0,01
4	13,60 ± 0,05	17,37	1,28 ± 0,01
5	13,57 ± 0,05	17,37	1,28 ± 0,01

Comparación de las mediciones de flujo con trazadores y la de los flujómetros en línea

Soluciones	Diámetro interno [m]	Velocidad Promedio [m/s]	Flujo medio medido [lts/min]	Flujo en flujómetros [lts/min]	Diferencia entre flujos
Rica 1 Sulfuros	0,327	1,53	7.71	8.145	-5,65
Rica 2 Oxidos	0,397	1,59	11.785	10.52	10,74
Rica 3 Ripios	0,353	1,42	8.319	8.581	-3,14
Refino 1 Sulfuros	0,384	1,282	8.899	8.123	8,72
Refino 2 Oxidos	0,441	1,36	12.441	11.708	5,89
Refino 3 Ripios	0,397	1,24	9.191	9.392	-2,19
ILS 1 Sulfuros	0,409	1,52	11.994	12.394	-3,34
ILS 2 Oxidos	0,555	1,04	15.107	14.865	1,60
ILS 3 Ripios	0,555	0,582	8.454	7.917	6,35
Orgánico SX-1	0,290	2,30	9.115	9.802	-7,53
Orgánico SX-2	0,313	2,52	11.619	13.68	-17,74

Con estos datos de flujo se pueden realizar balances metalúrgicos confiables



Bajo error



Alto error



Alto error

Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

Importancia de contar con mediciones precisas

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo

Medición de Caudal por trazador fluorescente ◀

Determinación de diámetro interno por el uso de ambos trazadores

Método de Determinación de Caudal en Flujos Superficiales por medio de trazador fluorescente

- El método consiste en la inyección continua en un curso de agua con un trazador fluorescente, Rodamina WT a una concentración conocida
- Se instala un equipo de detección aguas abajo que asegure la mezcla perfecta del trazador con el fluido (largo que permita la buena mezcla, turbulencia de las aguas)
- La determinación del Caudal se determina por **balance de masa**:

Balance de Masa del Trazador

$$Q = \left(\frac{C_q}{C_Q} \right) * q$$

C_q : Concentración de inyección

q : Caudal de inyección

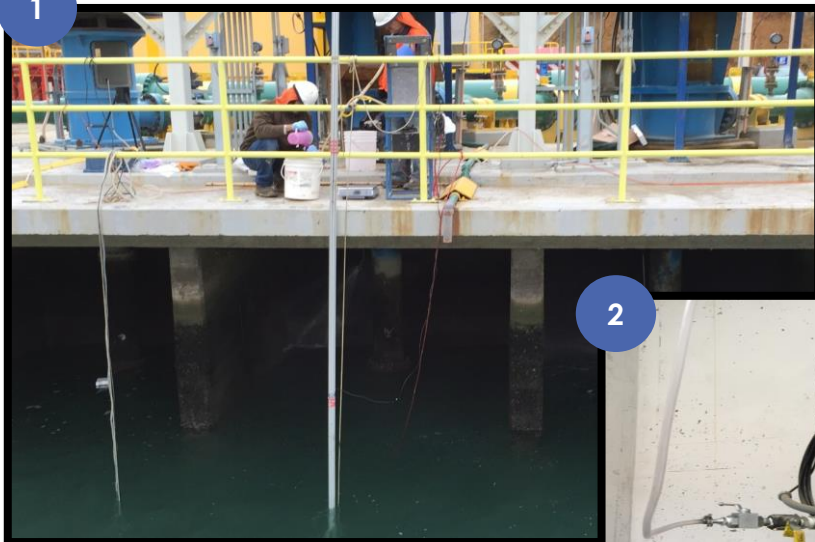
C_Q : Valor constante del trazador en flujo de agua

Q : Caudal del flujo de agua a medir

Este principio también permite medir **caudales en ductos cerrados**, aunque es más complicada la inyección y detección del trazador fluorescente

Inyección y detección de trazador fluorescente en ductos

1



Inyección de trazador

2



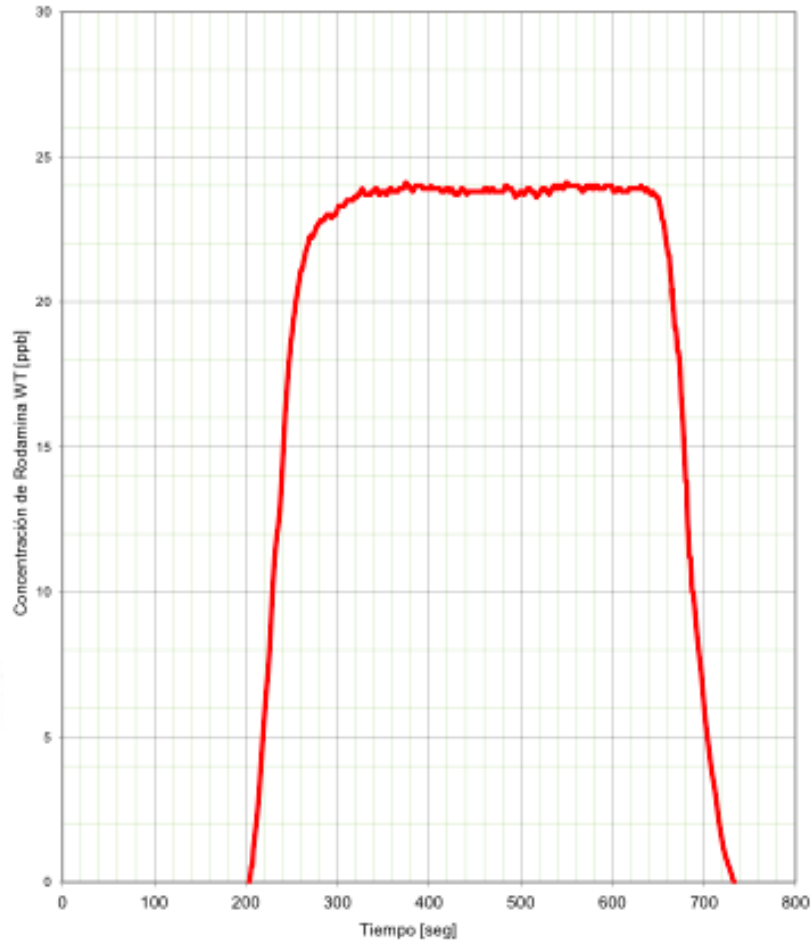
Toma de muestra desde la tubería

3



Fluorímetro para detección de trazador fluorescente

Gráfica: variación de rodamina wt en el tiempo



$$Q = \left(\frac{C_a}{C_Q} \right) * q$$

Agenda

Presentación de Trazado Nuclear e Ingeniería Ltda.

Trazadores y sus aplicaciones

Importancia de contar con mediciones precisas

Medición de Velocidad de Flujo por trazador radiactivo

Medición de Caudal por trazador fluorescente

**Determinación de diámetro interno por el uso de
ambos trazadores** ◀

Fórmula de obtención de diámetro equivalentes

Obtención de Diámetro Equivalente

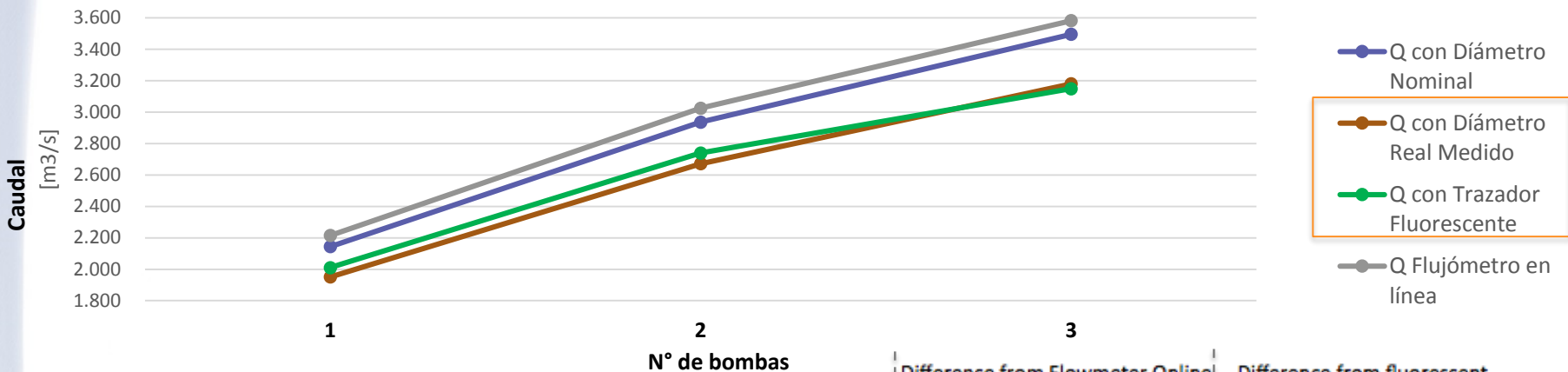
$$Q = V * \left(\frac{\pi}{4} \right) d^2$$

↓
Caudal a partir
de trazador
fluorescente

↓
Velocidad a partir
de trazado
radiactivo

Despejando esta
simple ecuación
podemos despejar el
diámetro equivalente

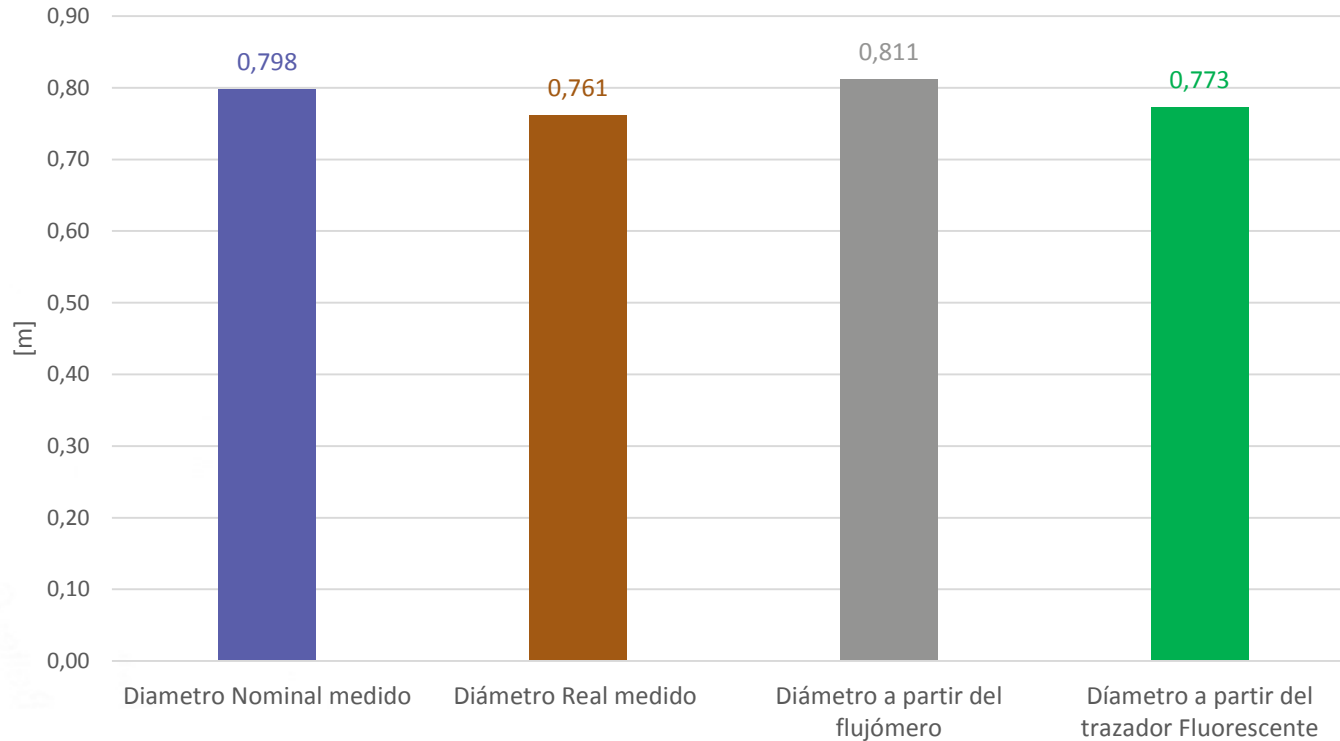
Comparación de Caudales obtenidos por diferentes métodos



Condition	Rate	Nominal diameter	Real diameter	Q Nominal	Q actual	Q fluorescent tracer	Flowmeter online	Difference from Flowmeter Online			Difference from fluorescent tracer		
								Q Nominal	Q Real	Q fluorescent tracer	Q Nominal	Q Real	Q flowmeter online
[Nº of pumps]	[m/s]	[m]	[m]	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	%	%	%	%	%	%
2	1,19	0,798	0,761	2.144	1.951	2.010	2.215	3,2	11,9	9,3	-6,7	3,0	-10,2
3	1,63	0,798	0,761	2.937	2.672	2.740	3.025	2,9	11,7	9,4	-7,2	2,5	-10,4
4	1,94	0,798	0,761	3.495	3.180	3.149	3.582	2,4	11,2	12,1	-11,0	-1,0	-13,8

- **Q nominal:** Caudal calculado con **velocidad determinada mediante trazador radiactivo**, y diámetro nominal
- **Q real:** Caudal calculado con **velocidad determinada por Trazado Nuclear**, y diámetro interno estimado
- **Q Flujómetro (magnético):** Caudal observado en Flujómetro Magnético al momento de hacer la medición
- **Q trazador fluorescente:** Caudal obtenido directamente inyectando un trazado fluorescente dentro de la tubería, y extrayendo constantemente un flujo para medir la concentración

Comparación de Diámetros



- **D nominal:** Diámetro nominal estimado
- **D real:** Diámetro interno estimado con incrustaciones
- **D Flujómetro:** Diámetro estimado a partir de la velocidad calculado por trazador radioactivo, y el caudal registrado por el flujómetro en línea
- **D a partir de trazador fluorescente:** Diámetro estimado a partir de la velocidad calculado por trazador radioactivo, y el caudal estimado por la inyección de trazador fluorescente

Medición de Flujos en ductos cerrados

