

Monitoreo AGD – Tecnologías y Factores de Éxito

Denis Lafrance, PhD, EMBA
Director – Servicios de laboratorio
Morgan Schaffer

Análisis de gases disueltos (AGD)



Hydrogen



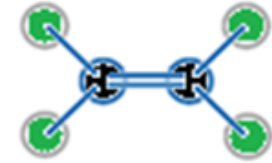
Carbon
Monoxide



Methane



Acetylene



Ethylene



Ethane



Carbon
Dioxide



Oxygen



Nitrogen

+



Moisture

La herramienta más poderosa disponible para comprender la salud de un transformador en operación

Beneficios de AGD en línea

- Encuentre fallas antes → reduzca los costos de reparación
- Mantenga las unidades con gasificación en servicio
- Ofrezca capacidad máxima con confianza
- Supervisar el estado de la flota en tiempo real → priorizar el mantenimiento

Rendimiento del monitor AGD



Los subsistemas trabajan juntos para determinar la calidad de los datos, la confiabilidad y el costo de propiedad:

- Sistema(s) de medición de gas
- Sistema de auto calibración (si está presente)
- Sistema de extracción de gases
- Regulación térmica de aceite y medidas
- Circulación de aceite
- Circulación de gases
- Coeficientes de solubilidad de gas y humedad

Monitores de uno y dos gases

Propósito: Detección de fallas

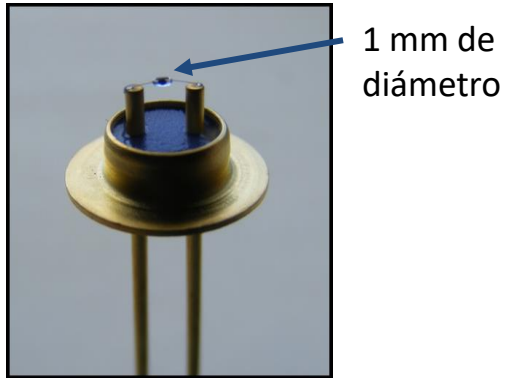
- H_2 para defectos que afectan al aceite
- CO por fallas que afectan a la celulosa

Tecnologías de medición de gases:

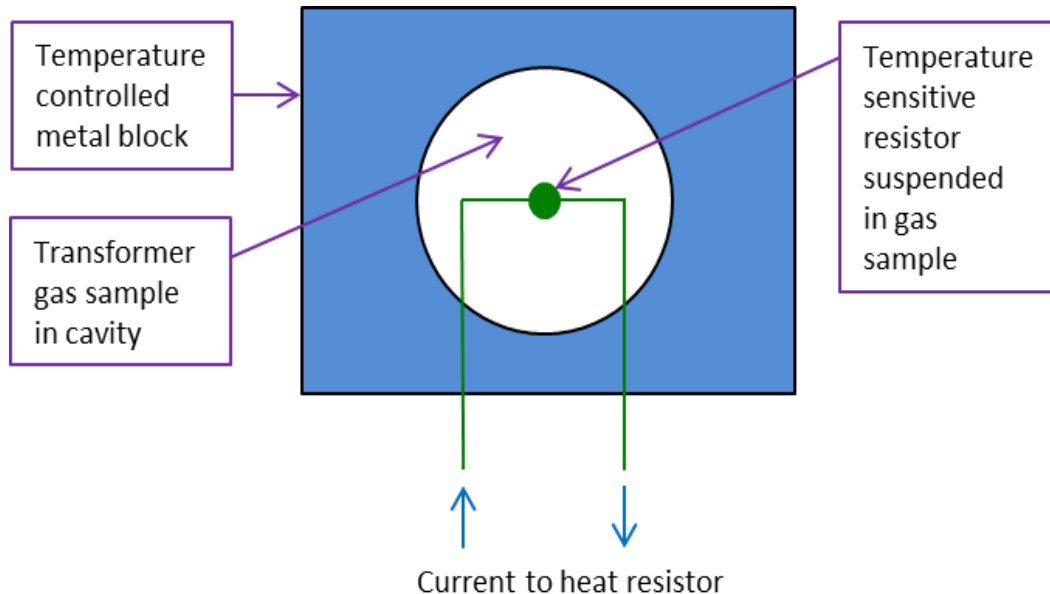
- Gel electroquímico (gas combinado lectura $H_2 + CO + C_2H_2 + \dots$)
- Sensor de óxido de estaño (gases individuales H_2 , CO)
- Conductividad térmica (TCD) (gases individuales H_2 , CO)
- H_2 - Resistencia de película metálica variable (H_2)



Detector de conductividad térmica (TCD)



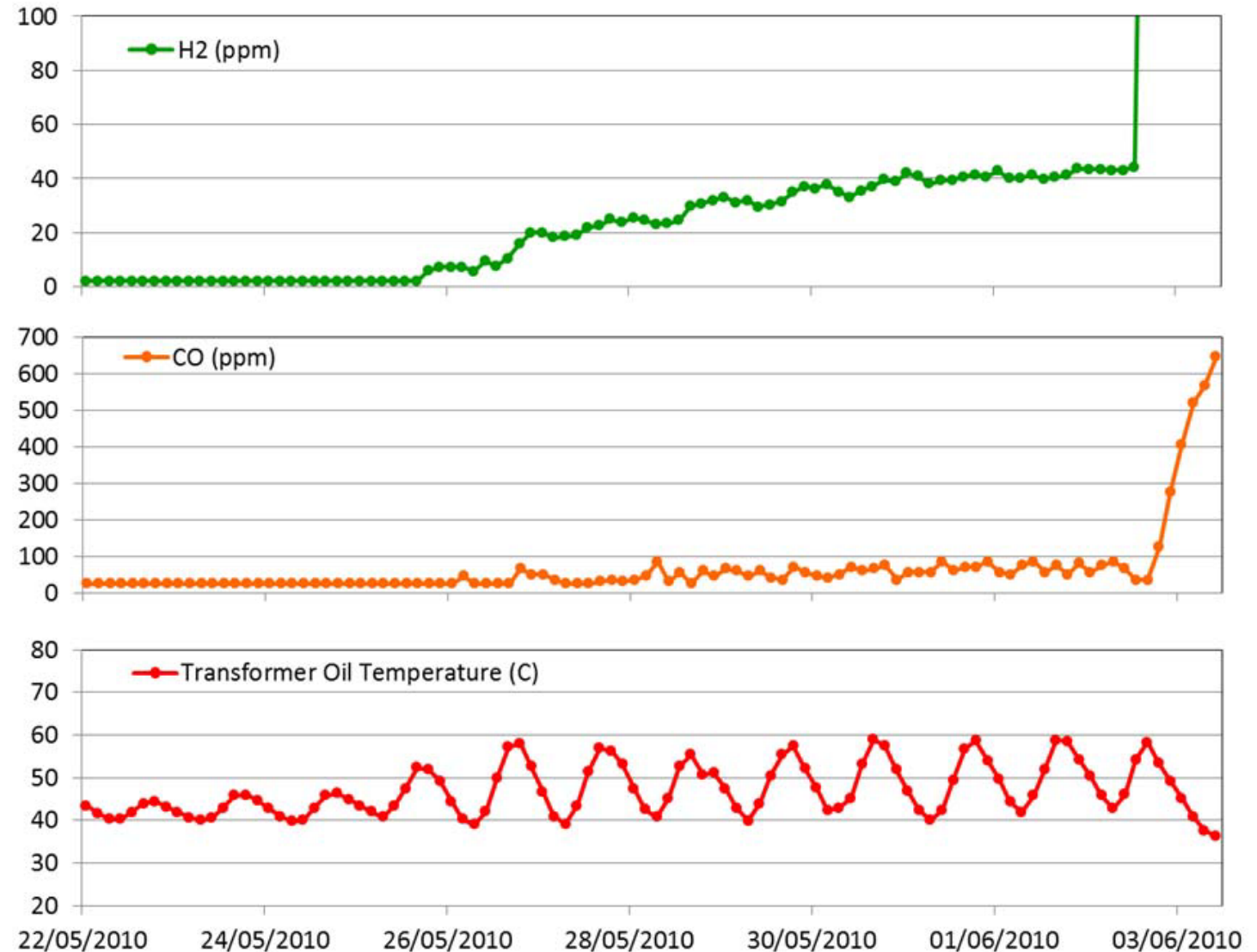
Termistor - perlas de vidrio



- El mejor rendimiento para la detección temprana de fallas
- Más sensible:
Límite de detección = 2 ppm H₂
- Más estable: durante muchos años
- Más preciso: $\pm 5\%$ H₂

Ejemplo de monitor TCD

- Finales de mayo en Texas
- Aumento diario de la carga máxima
- Defecto que afecta al aceite (H_2) y al papel (CO)
- Niveles de alarma demasiado altos (!)
- Fallo catastrófico
- La mejor manera de establecer límites de alarma de gas → en función de los niveles de gas históricos en ese transformador



Especificaciones críticas de rendimiento

Límite inferior de detección (sensibilidad):

- Detección temprana de fallas



Precisión en el servicio:

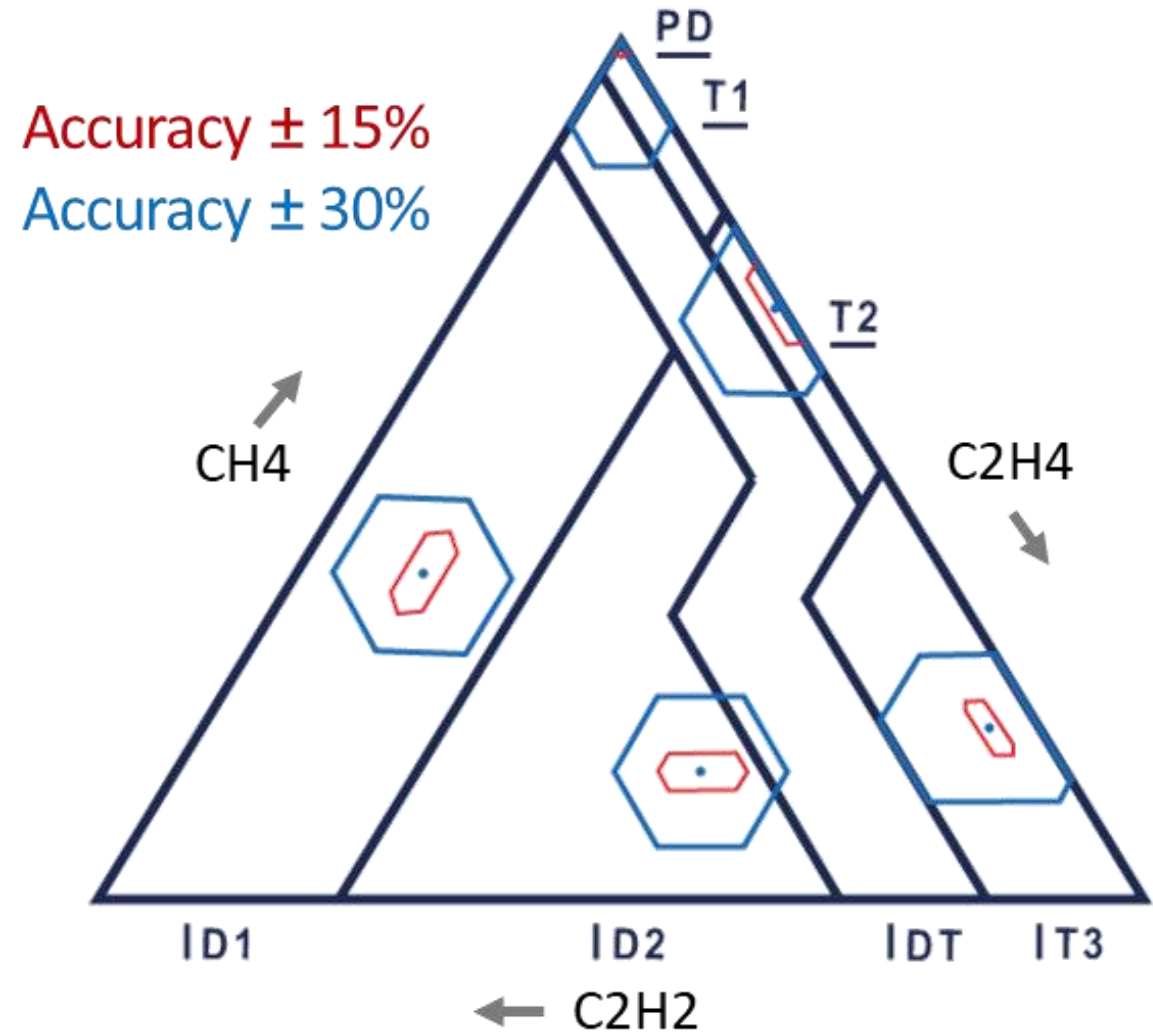
- De acuerdo con un buen laboratorio DGA → comprender el tipo de falla y la gravedad
- Si un monitor coincide constantemente con el laboratorio DGA, también permitirá la detección temprana de fallas
- Evita falsas alarmas



Triángulo de Duval

Cuando un área de incertidumbre cruza varias zonas de falla en el triángulo →
Se desconoce el tipo y la gravedad de la falla

Ref: M. Duval
IEEE EI Magazine
Agosto 2005



Tecnologías de monitoreo multigas

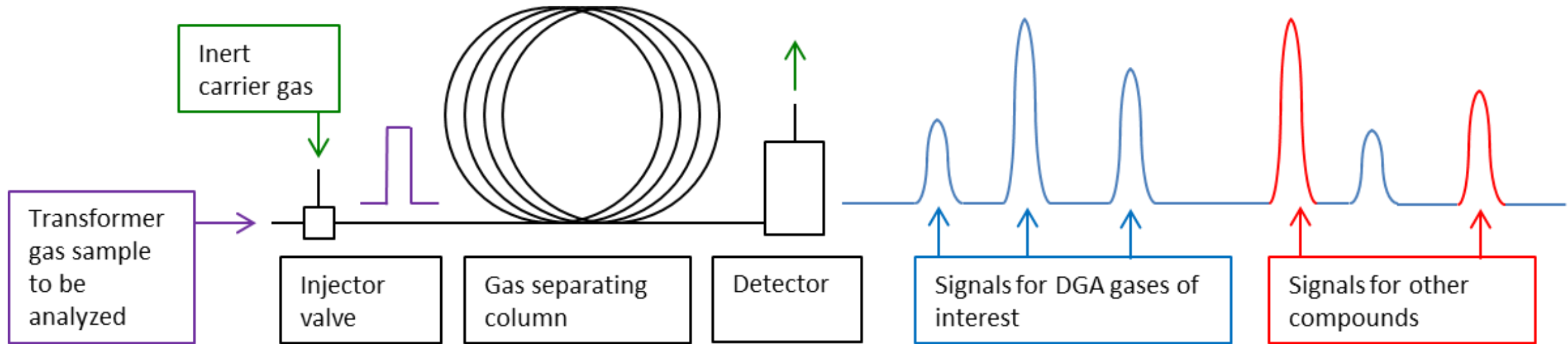
Cromatografía de gases (GC)

- 2 columnas con detectores de conductividad térmica
- 1 columna con detector de ionización

Espectroscopia de absorción infrarroja (IR)

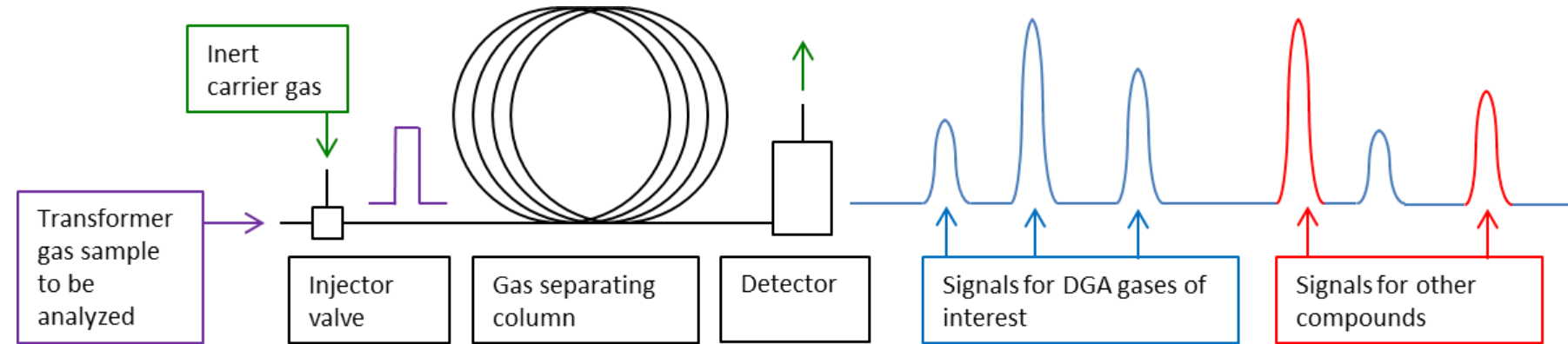
- Fotoacústica (PAS)
 - Resonante
 - No resonante
- IR no dispersivo (NDIR)
 - Filtros fijos
 - Filtros de escaneo
- Transformada de Fourier (FTIR)

Cromatografía de gases



- La pequeña muestra de mezcla de gases es impulsada a través de una columna de separación de gases por un gas portador (helio)
- Cada especie de gas separada llega al detector en un momento diferente
- Se utiliza una corrida de gas de calibración para identificar y cuantificar cada gas de la mezcla

Cromatografía de gases



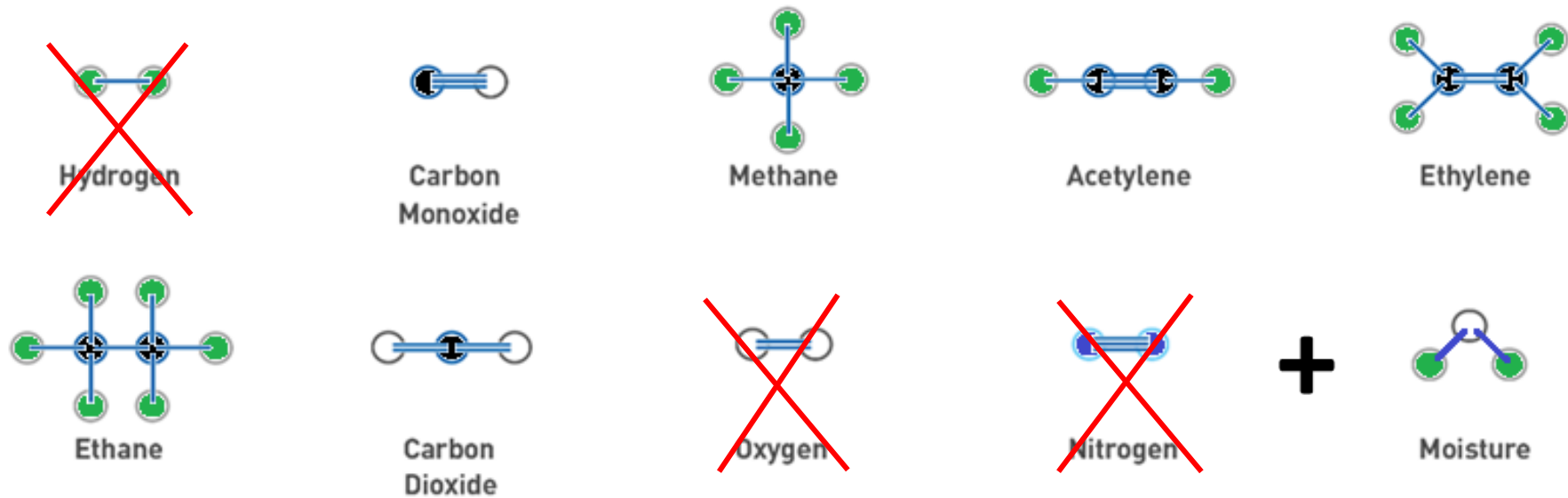
PROS

- Más sensible
- Más preciso (como el laboratorio DGA) debido a la calibración automática
- Lecturas no afectadas por gases de interferencia

CONTRAS

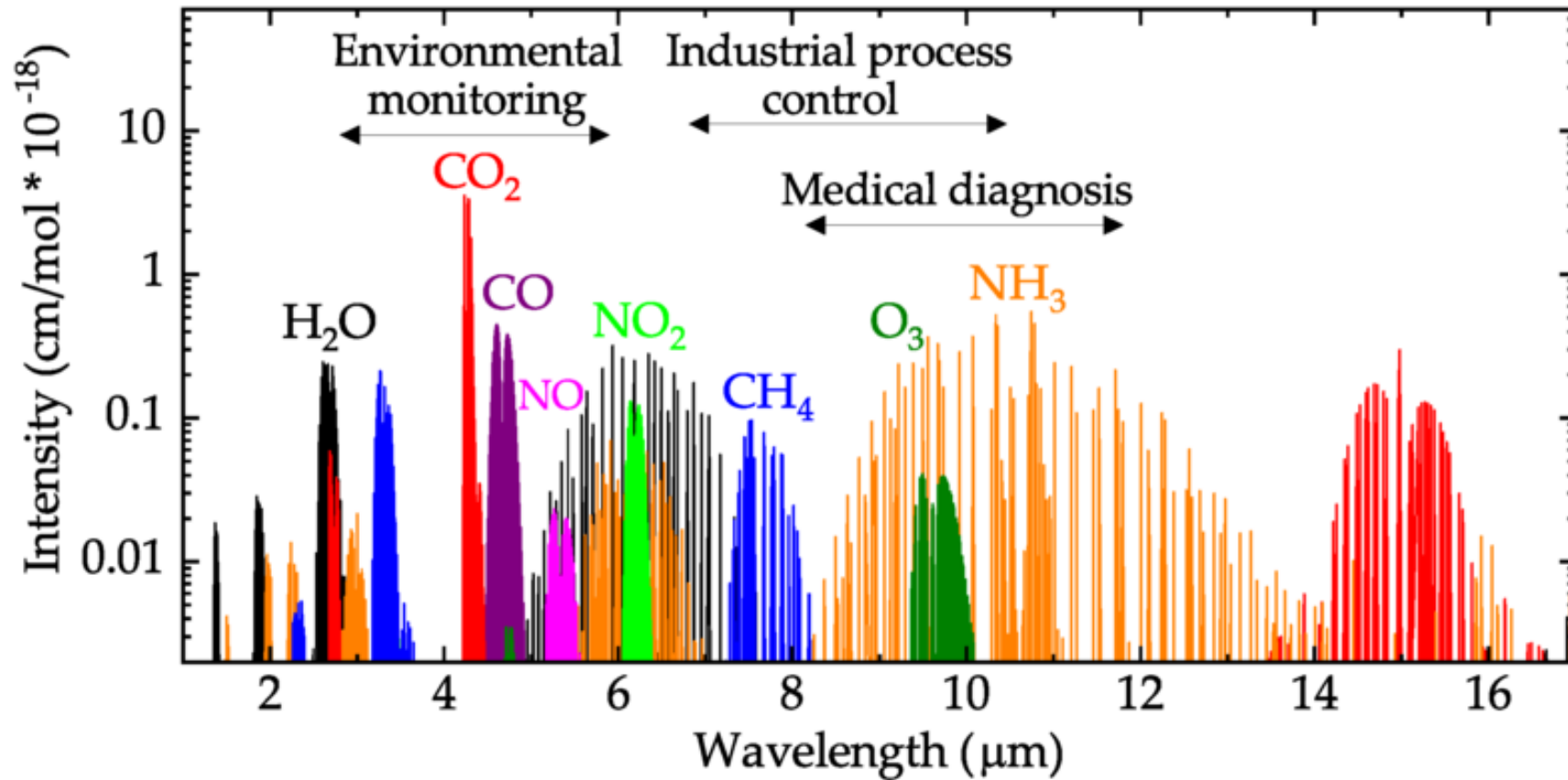
- Tiempo y costo para reemplazar los consumibles (gas portador y cilindros de gas de calibración)
- Algunos modelos necesitan una revisión importante después de 4-5 años

Mediciones de gas infrarrojo



- Cada compuesto de gas tiene modos de vibración característicos
- La luz IR puede absorberse fuertemente si la frecuencia coincide con uno de esos modos de vibración
- La absorción de luz se puede detectar mediante:
 - atenuación → NDIR, FTIR
 - calentamiento de gases → PAS
- Las moléculas dipolo simétricas (H_2 , O_2 , N_2) no absorben significativamente la luz IR

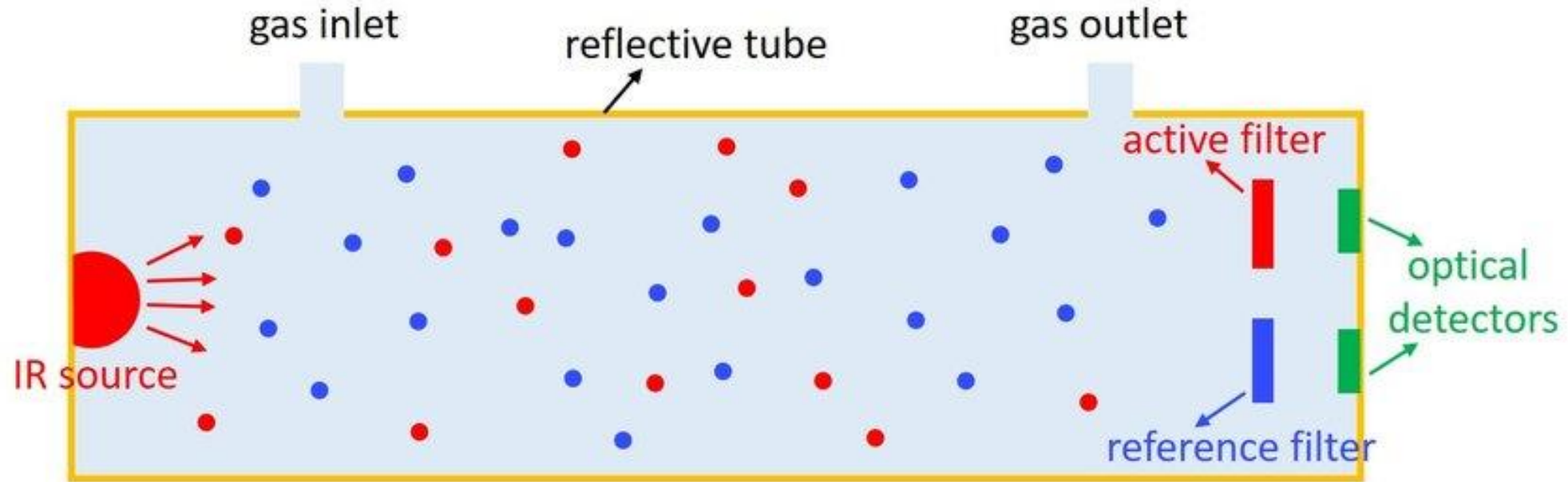
Espectros de absorción IR de gases



Popa, Daniel; Udrea, Florin "Towards Integrated Mid-Infrared Gas Sensors". Sensors. 19 3 (9): 2076, May 2019

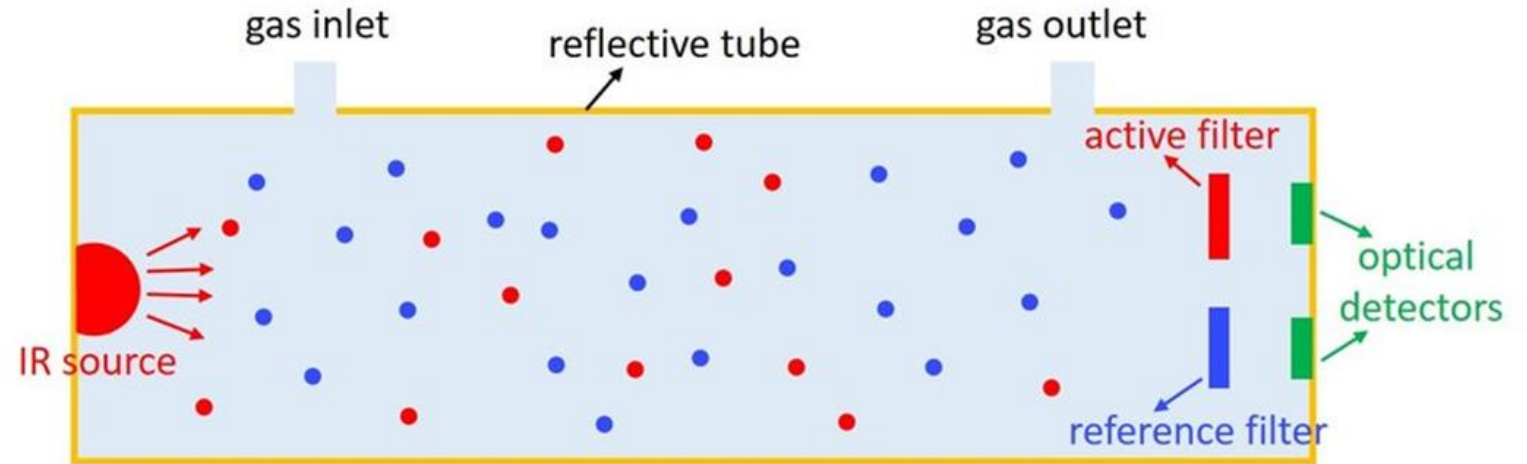
- Desafío de IR multigas → superposición de espectros de absorción de gas
- Necesita software para desenredar las mediciones tomadas en diferentes longitudes de onda

Espectroscopia IR no dispersiva



- El gas absorbe la luz IR de la fuente, reduciendo la intensidad que llega a los detectores ópticos
- Espejos se pueden utilizar para aumentar la longitud óptica entre la fuente y los detectores
- Filtros IR utilizados para excitar principalmente un gas a la vez
- Filtros de escaneo o fijos

Espectroscopia IR no dispersiva



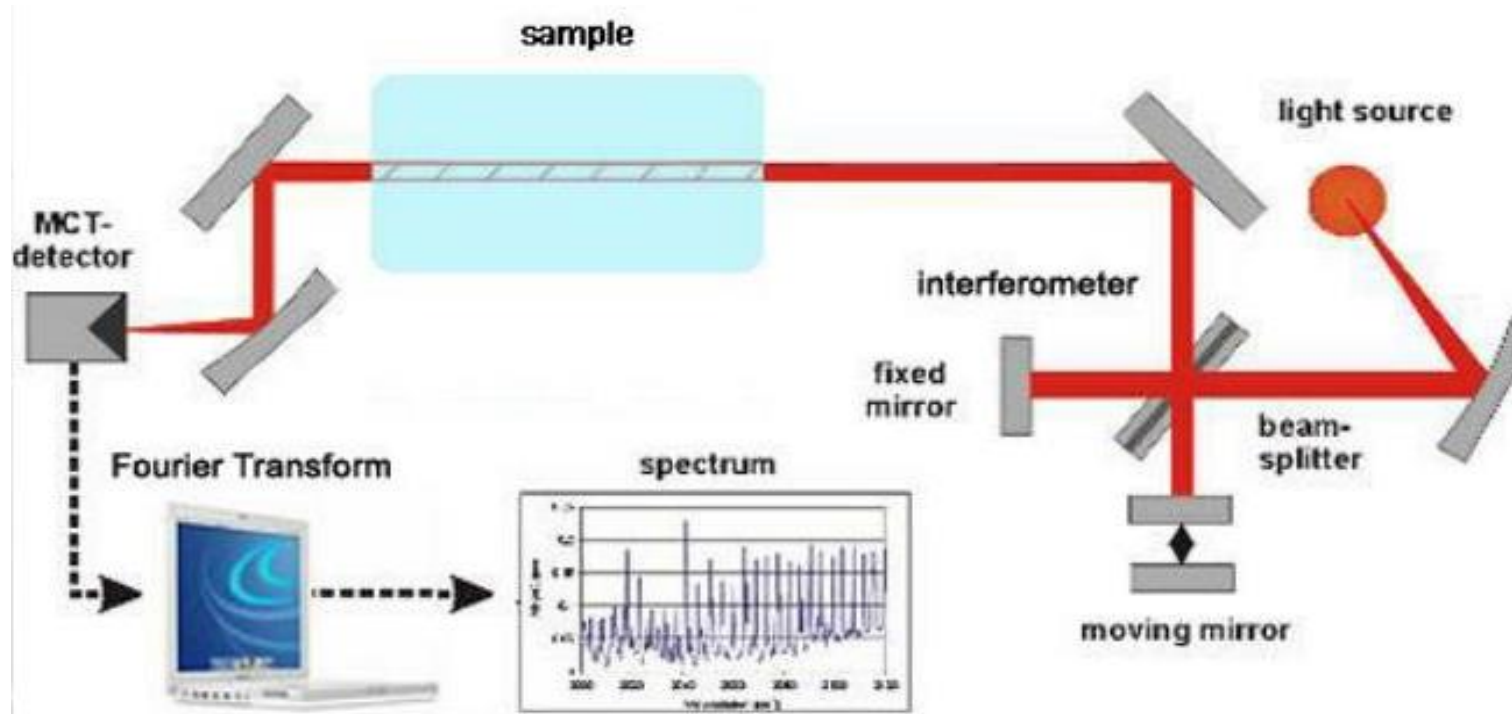
PROS

- Puede ser bastante simple y económico

CONTRAS

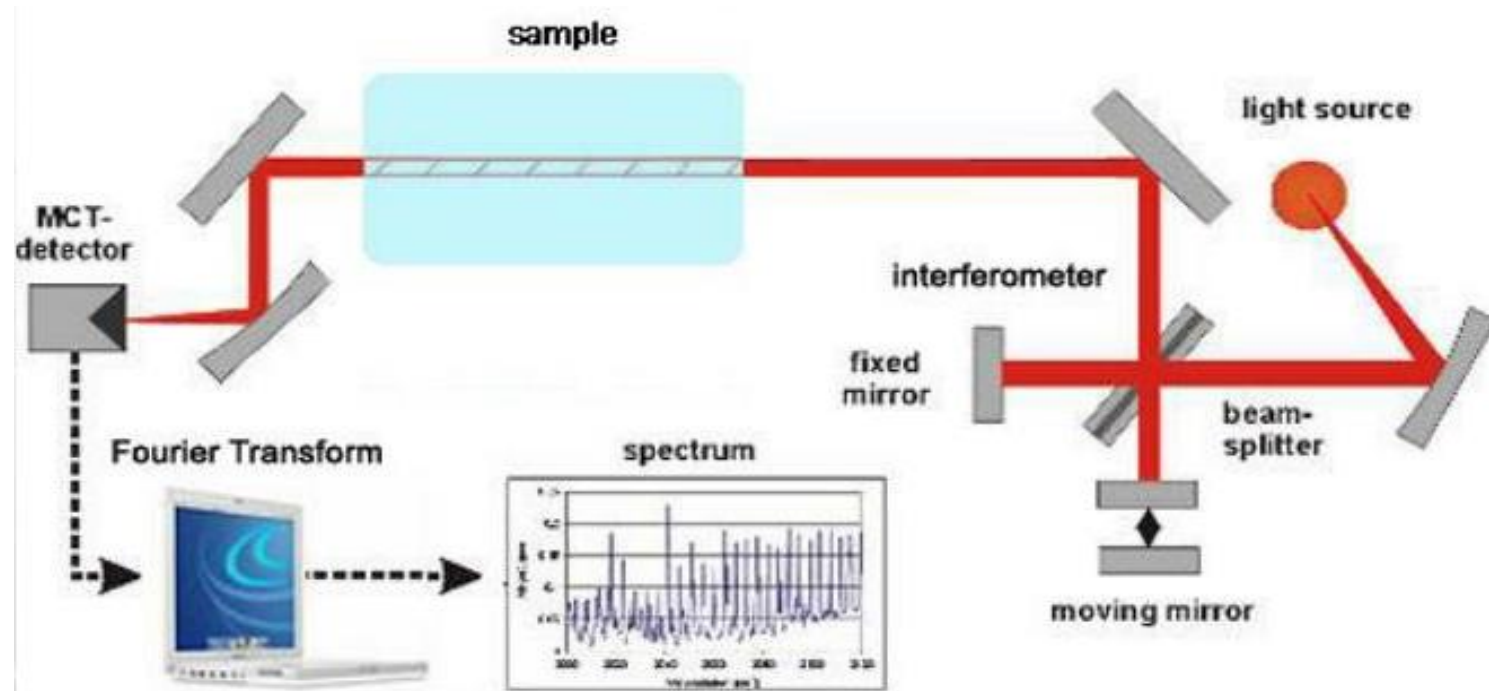
- Tiende a ser menos sensible
- Precisión comprometida cuando hay gases que interfieren
- Algunos modelos pierden precisión con el tiempo (deriva)

Espectroscopia IR por transformada de Fourier



- La luz de una lámpara de filamento pasa a través de un interferómetro, creando un "haz de interferencia" que contiene una serie de longitudes de onda (armónicos)
- El haz de interferencia pasa a través de la muestra de gas y se enfoca en un detector óptico enfriado
- La señal del detector se registra a medida que el interferómetro se escanea mecánicamente para crear una variedad de haces de interferencia (con diferentes armónicos de longitud de onda)
- Un cálculo de transformada de Fourier reconstruye el espectro de absorción IR del gas

Espectroscopia IR por transformada de Fourier



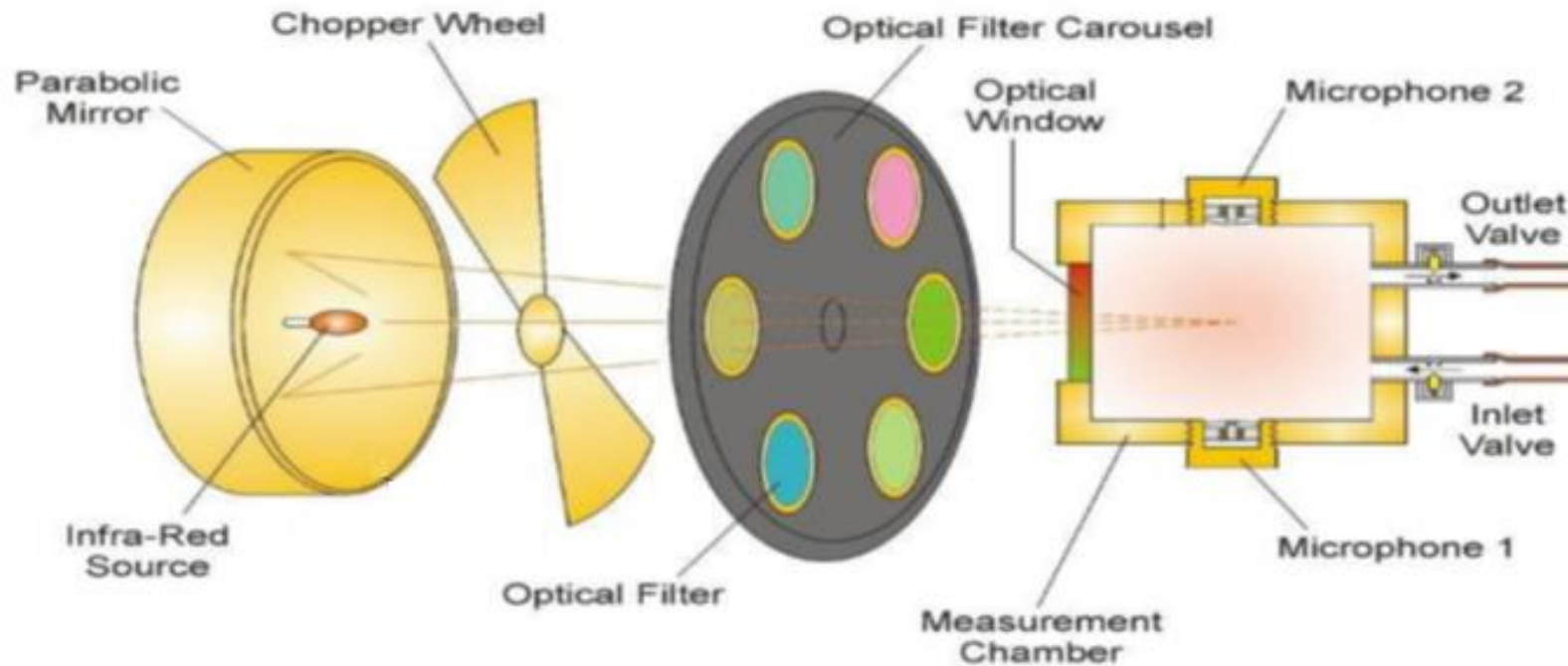
PROS

- Se obtiene un espectro de absorción IR más completo, que ayuda a interpretar las señales de gases que interfieren cuando están presentes

CONTRAS

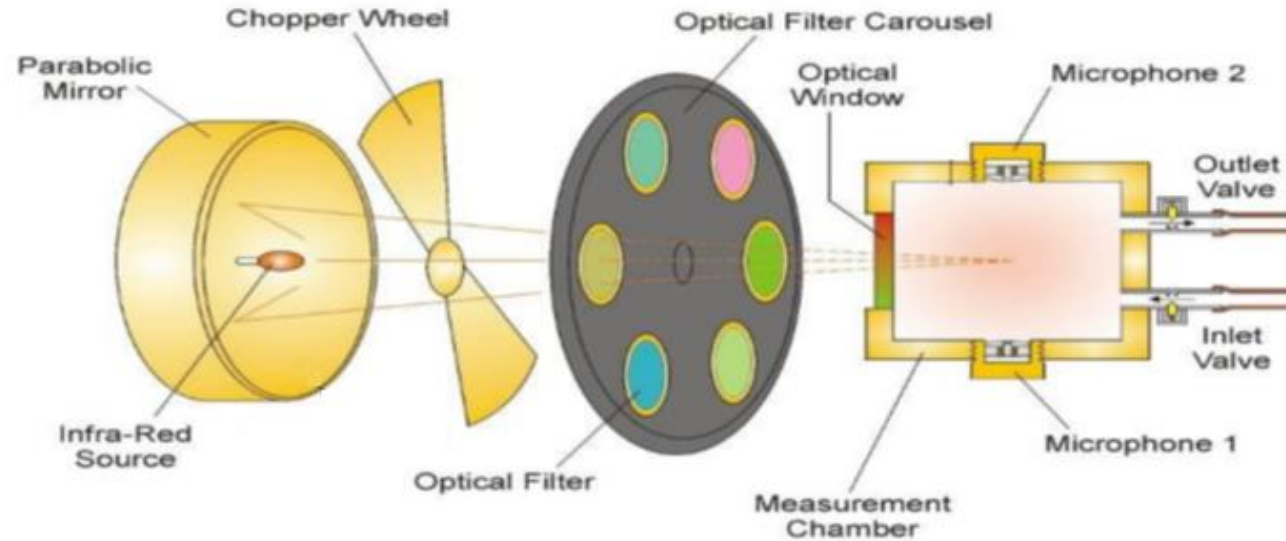
- Sistema óptico muy complejo y delicado

Espectroscopia IR fotoacústica



- Filtros IR utilizados para excitar principalmente un gas a la vez
- La luz IR se corta en una frecuencia de audio
- Luz IR pulsada → absorción pulsada → calentamiento pulsado de gas → expansión pulsada → ondas sonoras → señales al micrófono
- La celda de gas se puede moldear para que tenga una resonancia acústica en la frecuencia de corte (para aumentar la señal del micrófono)

Espectroscopia IR fotoacústica



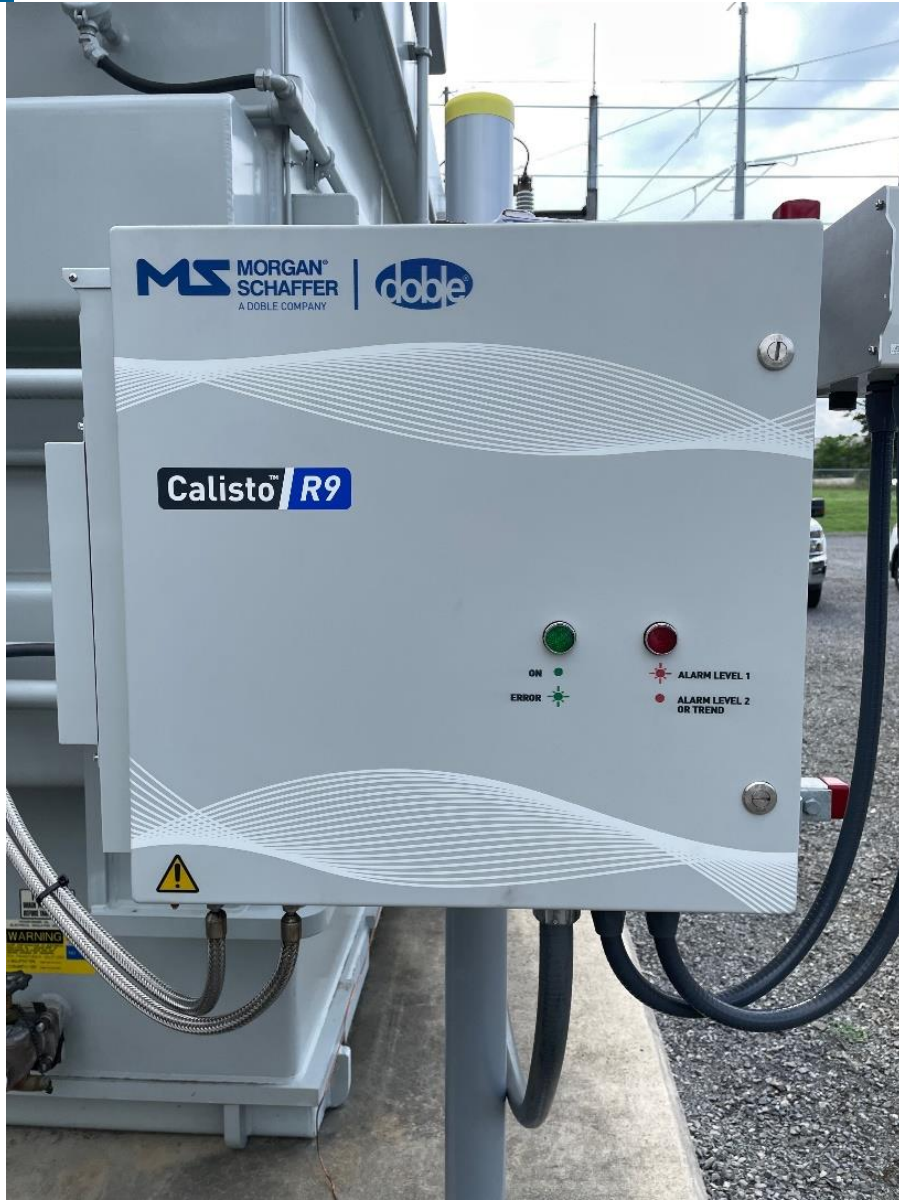
CONTRAS

- La precisión de algunos modelos puede verse comprometida cuando hay gases que interfieren
- Algunos modelos pierden precisión con el tiempo (deriva)
- Algunos modelos necesitan un servicio importante después de unos 3-4 años

PROS

- Método IR más sensible para un camino óptico dado
- ¡NUEVO! Un modelo tiene auto calibración usando vapor de agua

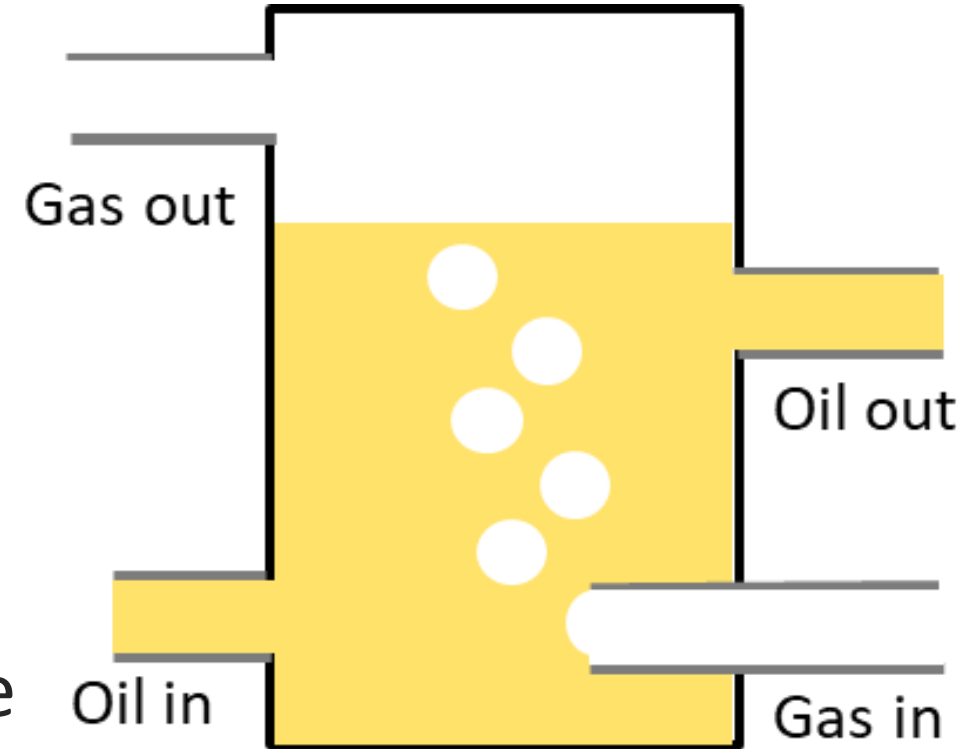
Presentamos: Calisto R9



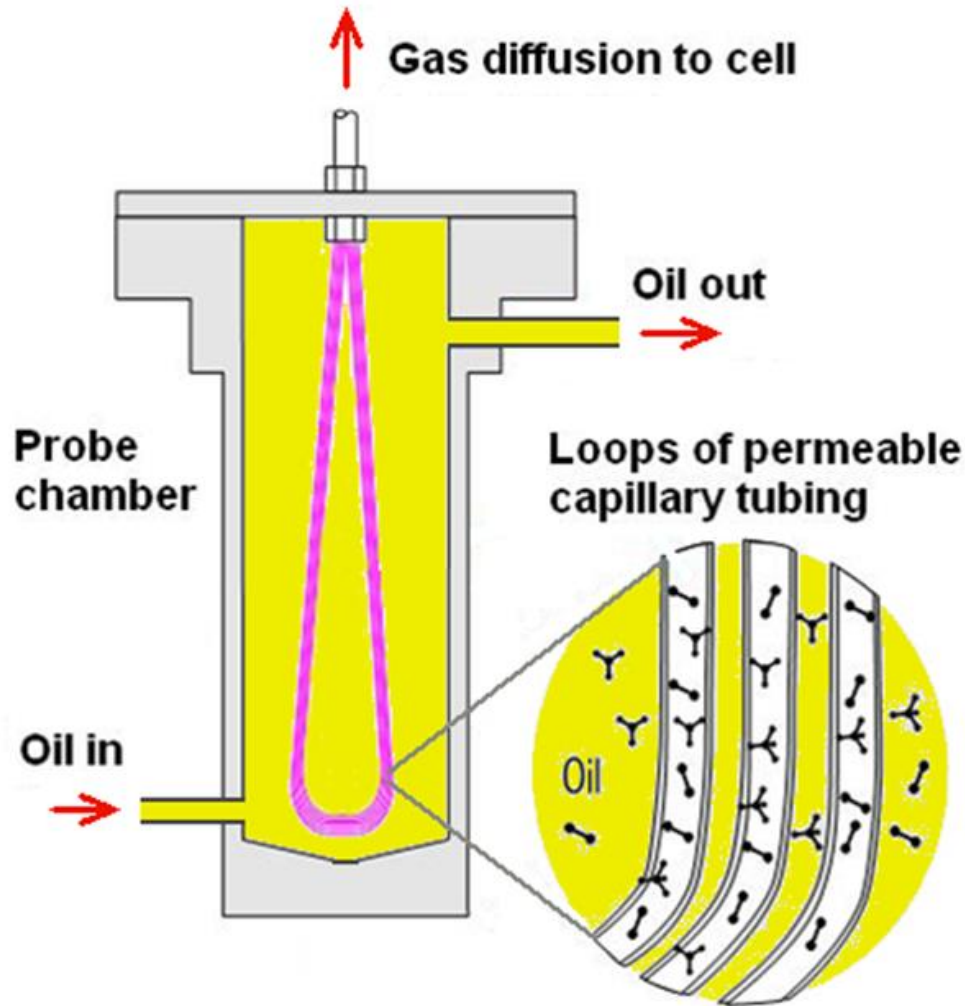
- Lo mejor de ambos mundos:
 - Como otros monitores IR → fácil de instalar y operar (sin cilindros de gas)
 - Como monitores GC → se calibra a sí mismo para mantener la precisión durante toda su vida útil
- Líder por la sensibilidad y precisión entre los monitores IR
- 3 patentes estadounidenses diferentes
- Toda la electrónica y el software nuevos
- Más de 20 años de experiencia Calisto® integrados
- Amplias pruebas de campo y pruebas de cumplimiento
- Soporte local en más de 90 países

Extracción de gas - espacio libre

- Acelere la extracción de gas mediante agitación, burbujeo o vacío parcial
- La extracción precisa requiere un control cuidadoso de
 - volumen de gas
 - volumen de liquido
 - temperatura
- CONTRA: Contaminación por aceite y vapor de aceite del sistema de medición de gas

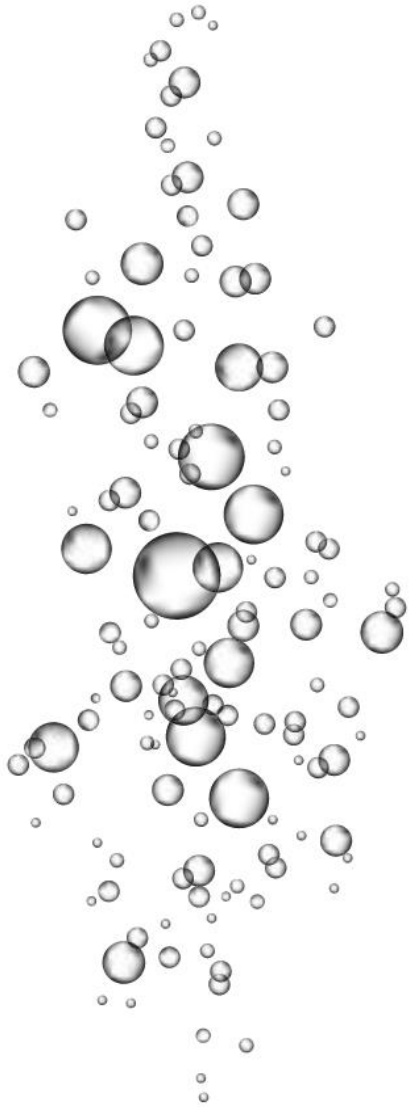


Extracción de gas - Membrana



- Membrana = tubo capilar de Teflon[®] permeable al gas
- Sin partes móviles → confiable
- Volúmenes fijos de líquido y gas → extracción muy reproducible
- Tolerante al vacío para el secado del transformador
- PRO: El aceite y los vapores de aceite no pueden entrar en el analizador de gases → Precisión y fiabilidad a largo plazo

Otras características importantes del monitor



- Regulación térmica de extractor de gas y analizador de gas → precisión y reproducibilidad
- Monitoreo del flujo de aceite → muestreo de aceite representativo → precisión
- Trampa de burbujas → Fácil instalación, protege el transformador

Importante pero no en la hoja de datos

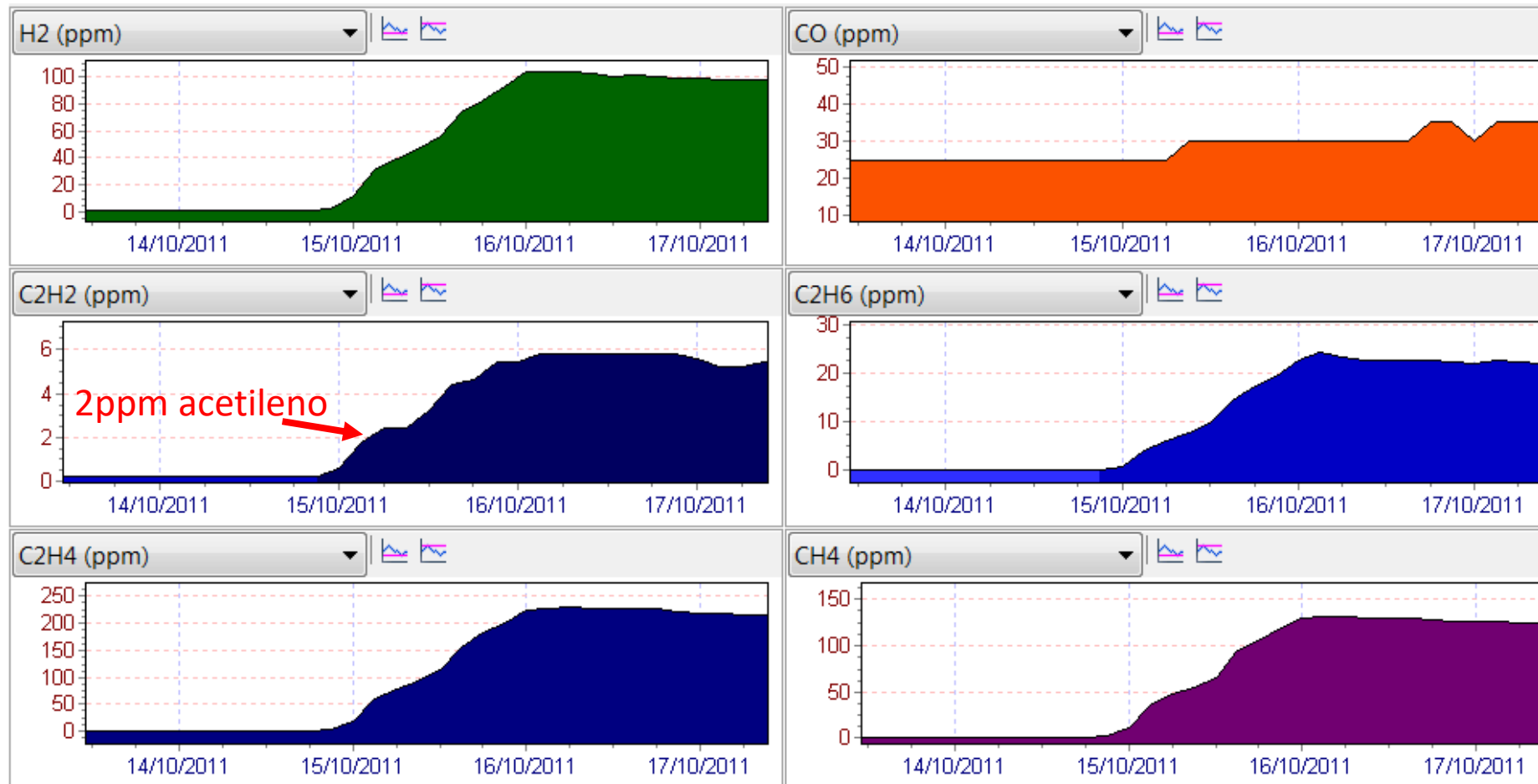
- Precisión de la vida real
- Fiabilidad
- Requisitos de mantenimiento de la vida real
- Capacidad de respuesta del proveedor para soporte
- Relación a largo plazo con el proveedor



¿Como saber?

- Pruebas en campo
- ¡Habla con otros!

Multigas Ahorra una unidad de 900 MVA



- El monitor GC emitió una alarma por falla de arco 6 horas después de energizar el transformador en el sitio
- El transformador fue devuelto al fabricante bajo garantía

Retorno de la inversión

- Establezca niveles de alarma de gas según el historial de cada transformador
- ¡Conecte las comunicaciones al monitor!
- Practique planes de acción para alarmas de gas
- Los monitores de detección de fallas son una muy buena manera de monitorear más transformadores dentro de un presupuesto
- Monitores multigas confiables para transformadores críticos
- Siga las pautas de mantenimiento
- Asociarse con el proveedor

¿Preguntas?

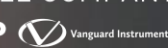


ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



MORGAN
SCHAFER



Gracias

Denis Lafrance, PhD, EMBA
Director – Servicios de laboratorio
Morgan Schaffer