

Monitoreo de partículas en agua ultra pura para aplicaciones de la microelectrónica

Ross Bryant
ULTRAPURE WATER® MICRO
Austin, TX
Noviembre, 2007



Agenda

- Motivación para el monitoreo de partículas
- Fundamentos del conteo de partículas óptico
- Especificaciones de instrumentos
- Estadísticas de conteo
- Análisis de datos e interpretación



Partículas: Parte integral de ITRS Roadmap

Año de producción	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM half-pitch (nm)	80	70	65	57	50	45	40	36	32
Tamaño de partícula crítico (nm)	40	35	33	29	25	22	20	18	16
Resistividad a 25°C(MΩ-cm)	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
Total carbono oxidable (ppb) POE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bacteria (CFU/litro)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Total sílice (ppb) como SiO ₂	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Número de partículas >0,05 µm (/ml) POE	<0.2	<1	<0.9	<0.8	<0.4	<0.3	<0.3	<0.3	<0.2
Oxígeno disuelto (ppb) POE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nitrógeno disuelto (ppm)	8-12	8-12	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18
Metales críticos (ppt, cada uno)	<1	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Otros iones críticos (ppt, cada uno)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Estabilidad de temperatura (K)	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1
Gradiente de temperatura en K/10 minutos POE para litografía por inmersión	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Se conocen soluciones intermedias
 No se conocen soluciones fabricables
 Se conocen soluciones fabricables

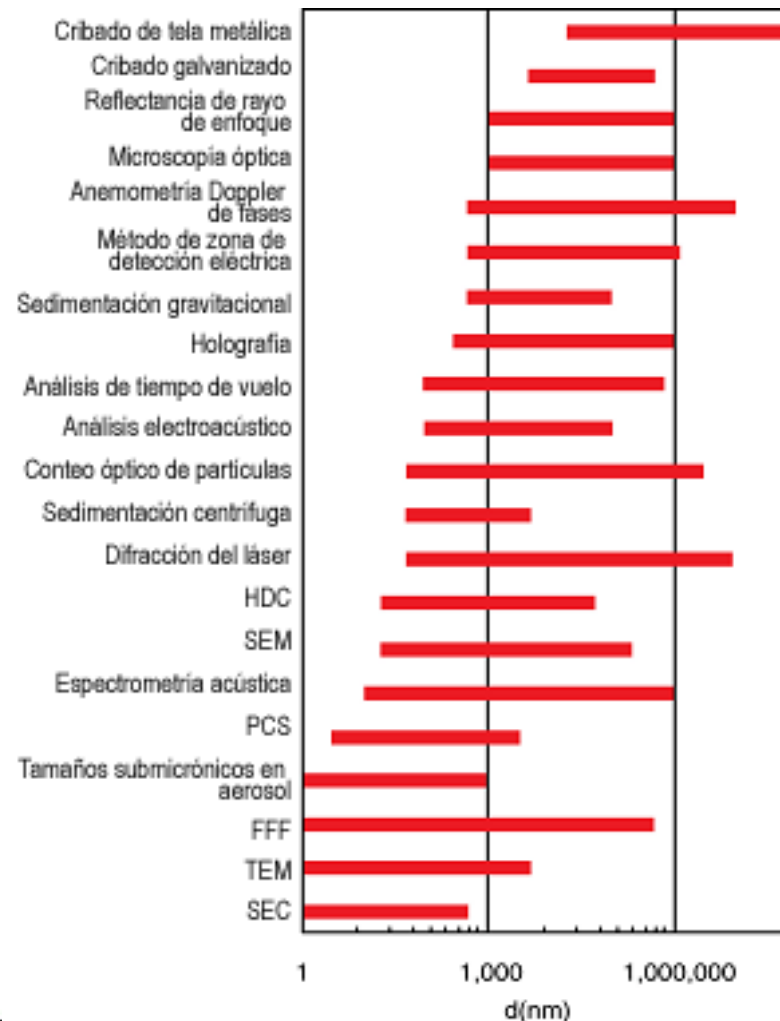


Agua ultra pura

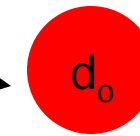
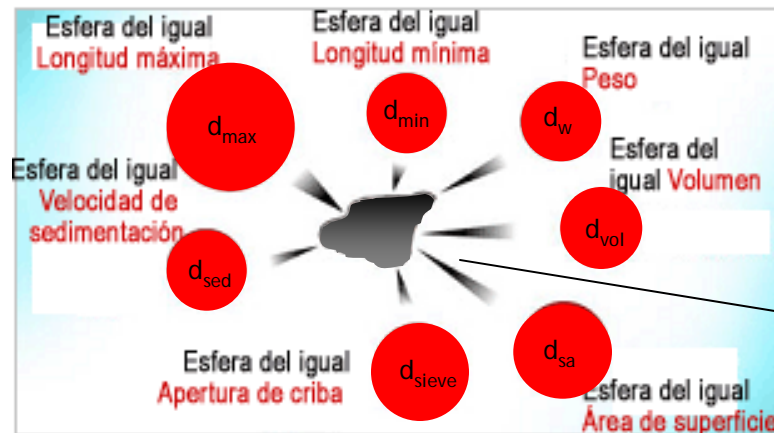
- Estímulos para impulsar la necesidad de contadores de partículas de mayor rendimiento
 - Obleas de 300 mm
 - Muy pocas partículas en los sistemas de agua ultra pura (UPW) más nuevos
 - $<0,2$ partículas/ml (o 200/litro) mayor que 0,05 micrones
 - Las irregularidades con partículas de un sistema de UPW tienen enormes consecuencias económicas
 - Mayor utilización
- La mejor tecnología para el UPW es el conteo de partículas óptico con láser
 - Sensibilidad
 - Fiabilidad
 - Sin necesidad de operador



Métodos de cálculo de tamaño de partículas



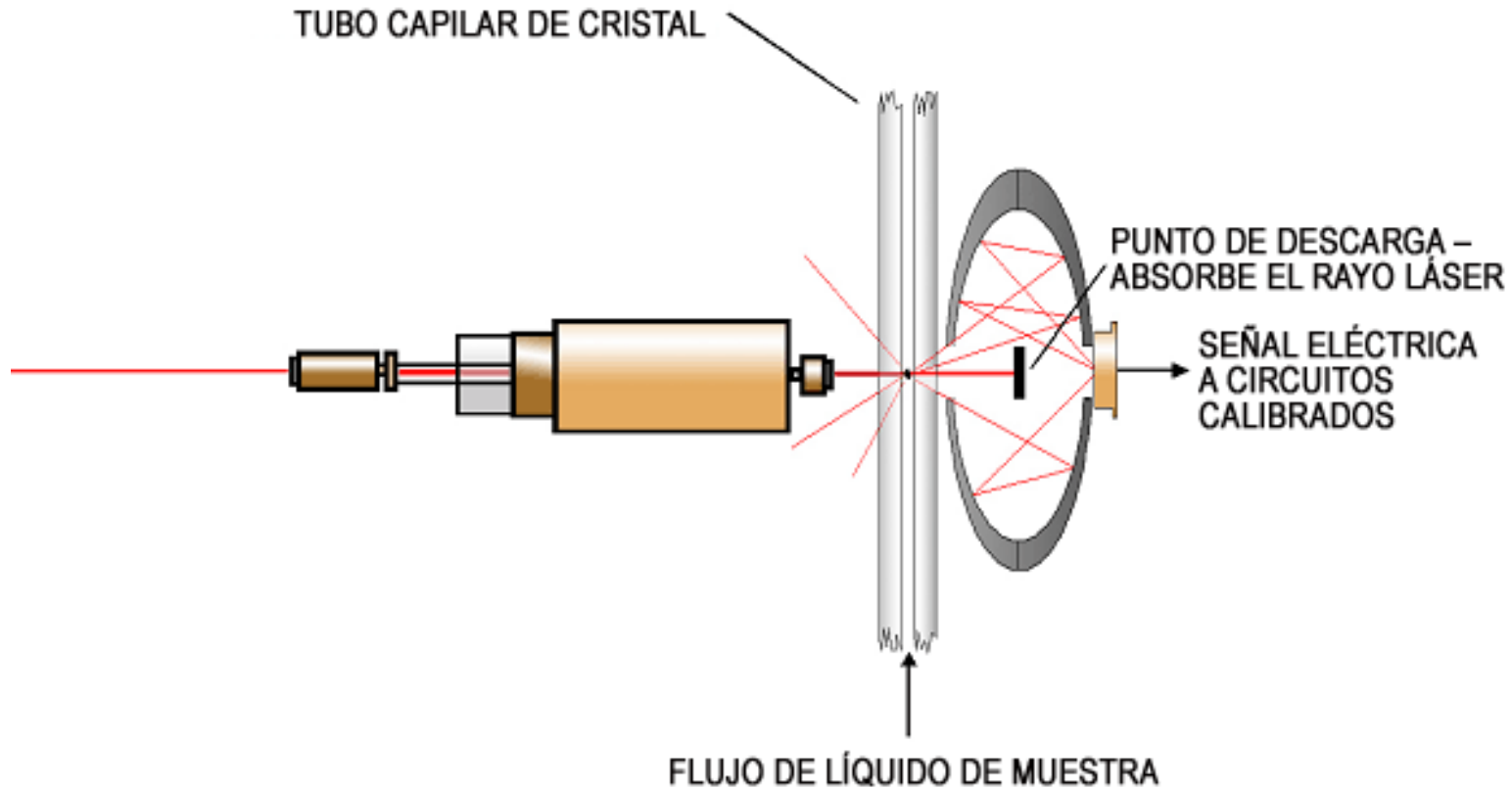
Mediciones equivalentes a esferas



Esfera del mismo
"equivalente óptico"
(látex de poliestireno)



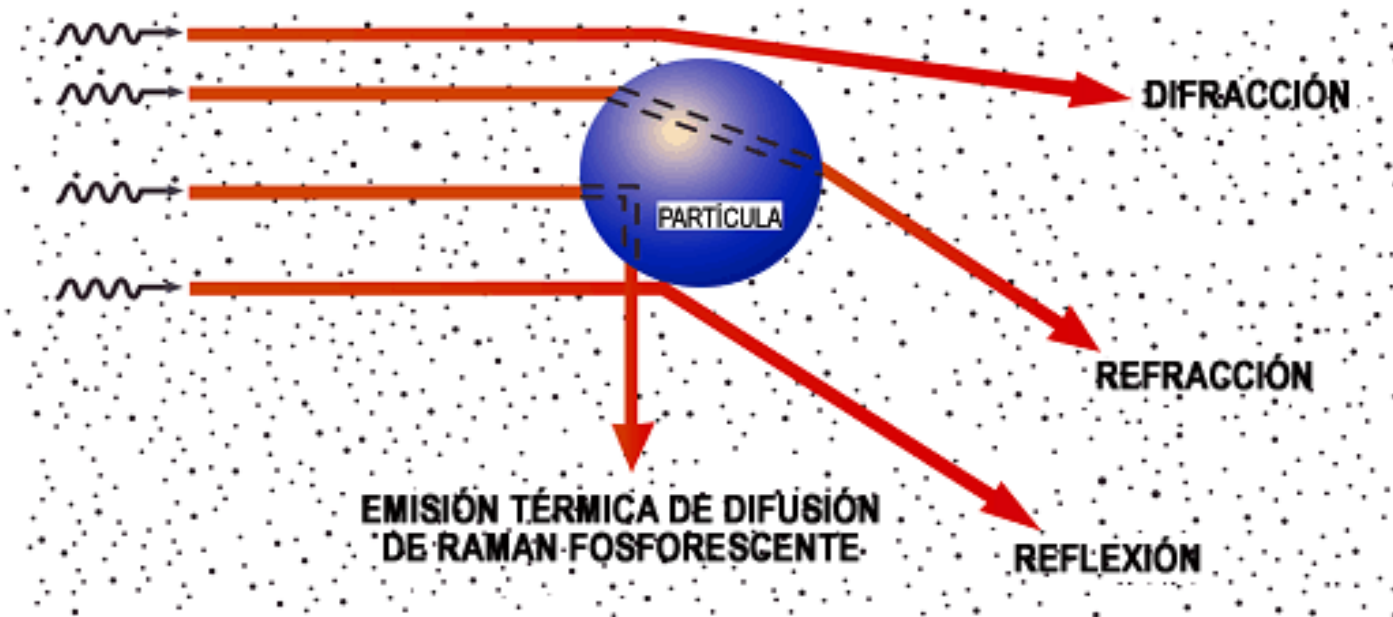
Contador de partículas de líquidos



Propiedad de Particle Measuring Systems



Fenómeno de la dispersión

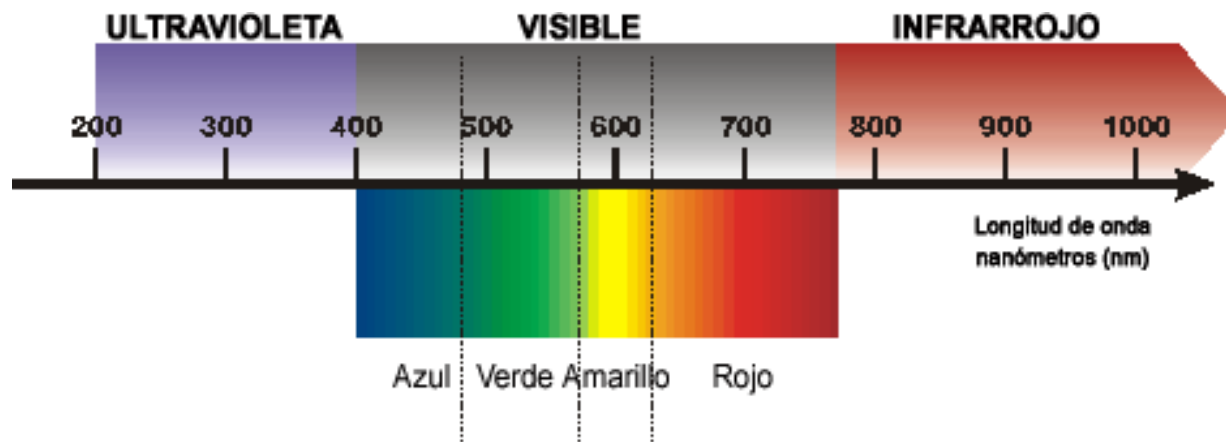


Propiedad de Particle Measuring Systems



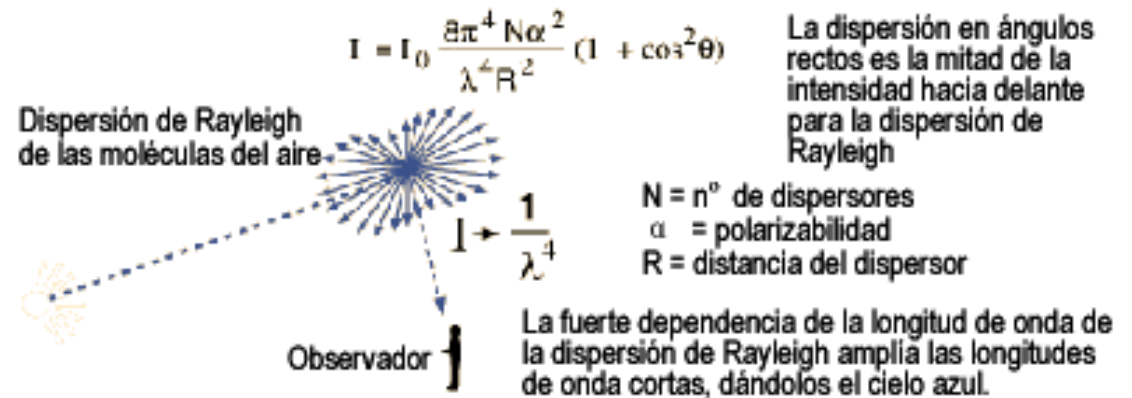
Campos de dispersión

- Dispersión de Rayleigh
 - Partículas mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz
- Dispersión de Lorenz-Mie
 - Tamaños de partícula comparables con la longitud de onda de la luz
- Dispersión geométrica
 - Partículas mucho más grandes que la longitud de onda de la luz



Dispersión de Rayleigh

$$I_s \sim \lambda^2 f(\alpha) = \lambda^2 \alpha^6 = \frac{d^6}{\lambda^4}$$



- Intensidad de la dispersión mayormente independiente de la forma de la partícula
- Domina la refracción
- Dispersión simétrica (hacia delante=hacia atrás)



Dispersión de Lorenz-Mie



$$I_s \sim \lambda^2 f(\alpha) = \lambda^2 \alpha^{(6 > n > 2)} = \frac{d^{x < 6}}{\lambda^{y < 4}} \text{ to } \frac{d^{x > 2}}{\lambda^{y > 0}}$$

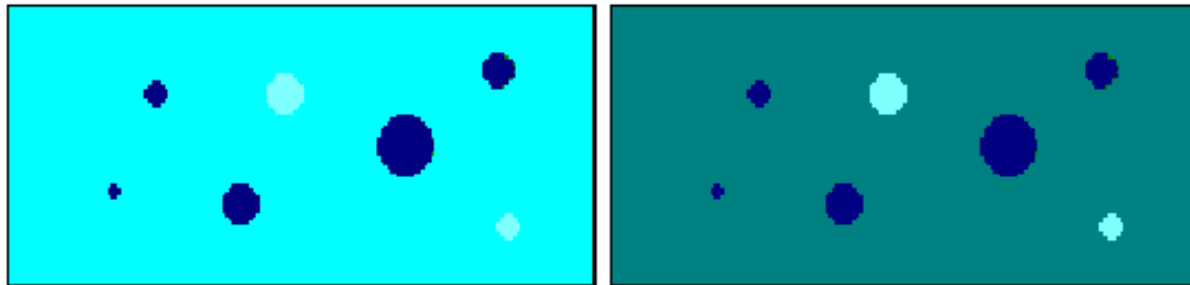
- Intensidad de la dispersión y distribución angular mayormente dependiente de la forma de la partícula
- La intensidad y la polarización fluctúan como una función del ángulo de dispersión
- Dispersión asimétrica (hacia delante >> hacia atrás)
- Lóbulo hacia delante principalmente por difracción (es más concentrado)



Índice de componente de refracción

- La intensidad de la dispersión depende del "Contraste IR"

$$IR_Contrast = \frac{Particulate_IR}{Media_IR}$$



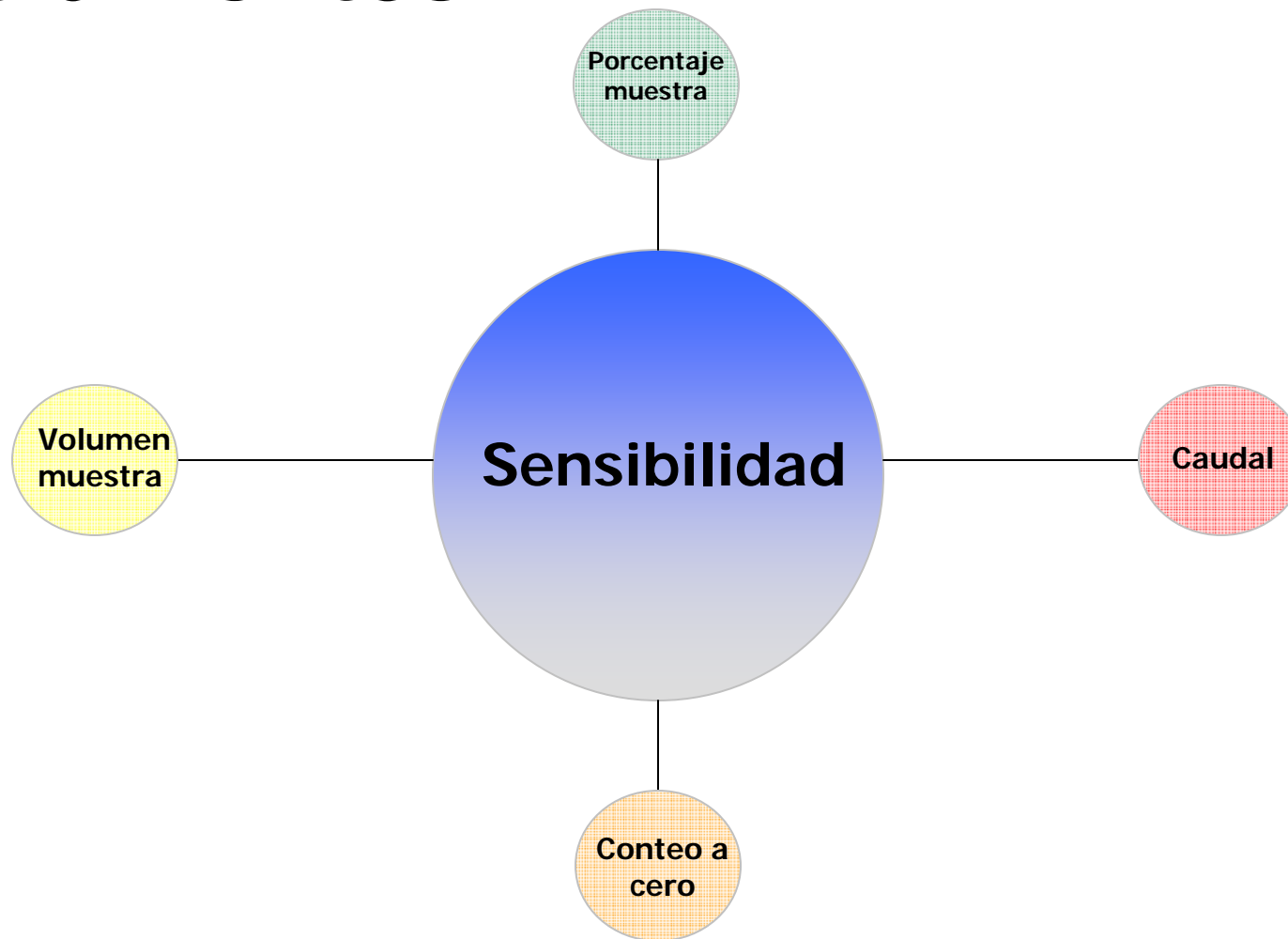
Índice de refracción

- Índices refractario de partículas características y distintos medios de muestra ($\lambda = 633 \text{ nm}$)

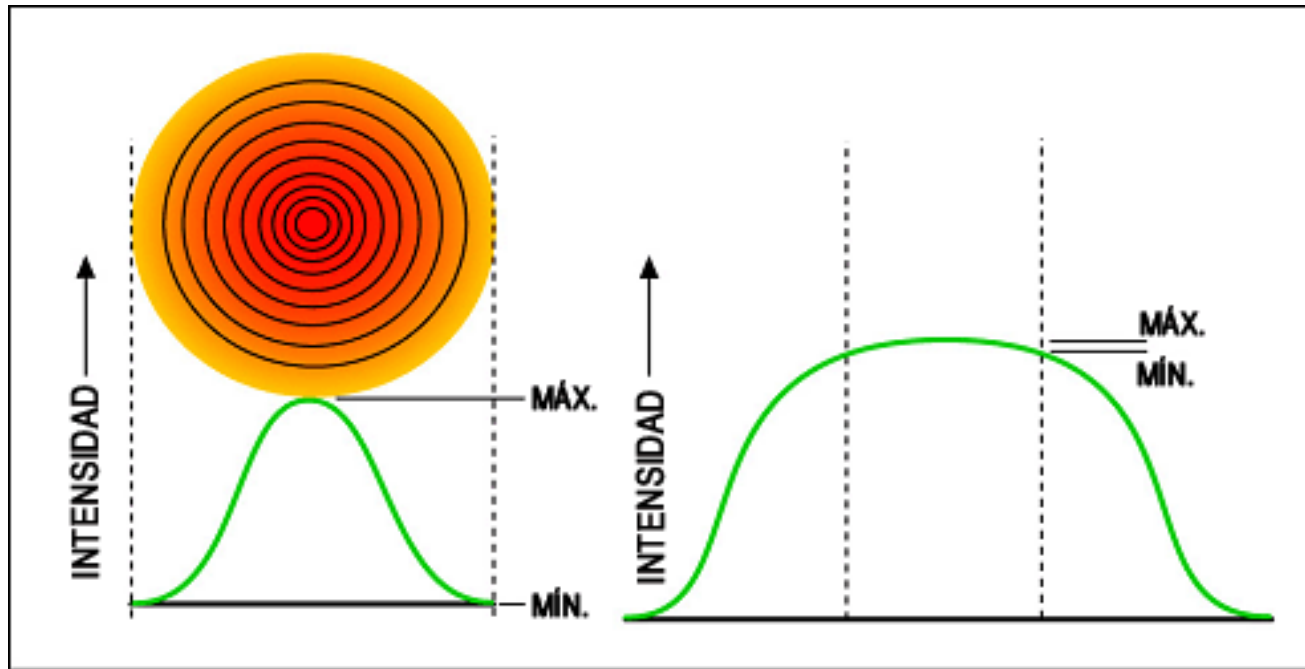
Material particulado	Índice refractario
<i>Dióxido de silicio (sílice)</i>	1,45
<i>Silicon</i>	3,9
<i>Látex de poliestireno(PSL)</i>	1,59
<i>Acero</i>	2,5
<i>Cobre</i>	0,45
<i>Aluminio</i>	1,9
Medios de muestra	
<i>Agua</i>	1,33
<i>Ácido fluorhídrico (50%)</i>	1,29
<i>Hidróxido amónico (29%)</i>	1,33
<i>Ácido clorhídrico (37%)</i>	1,41
<i>Ácido sulfúrico (96%)</i>	1,46



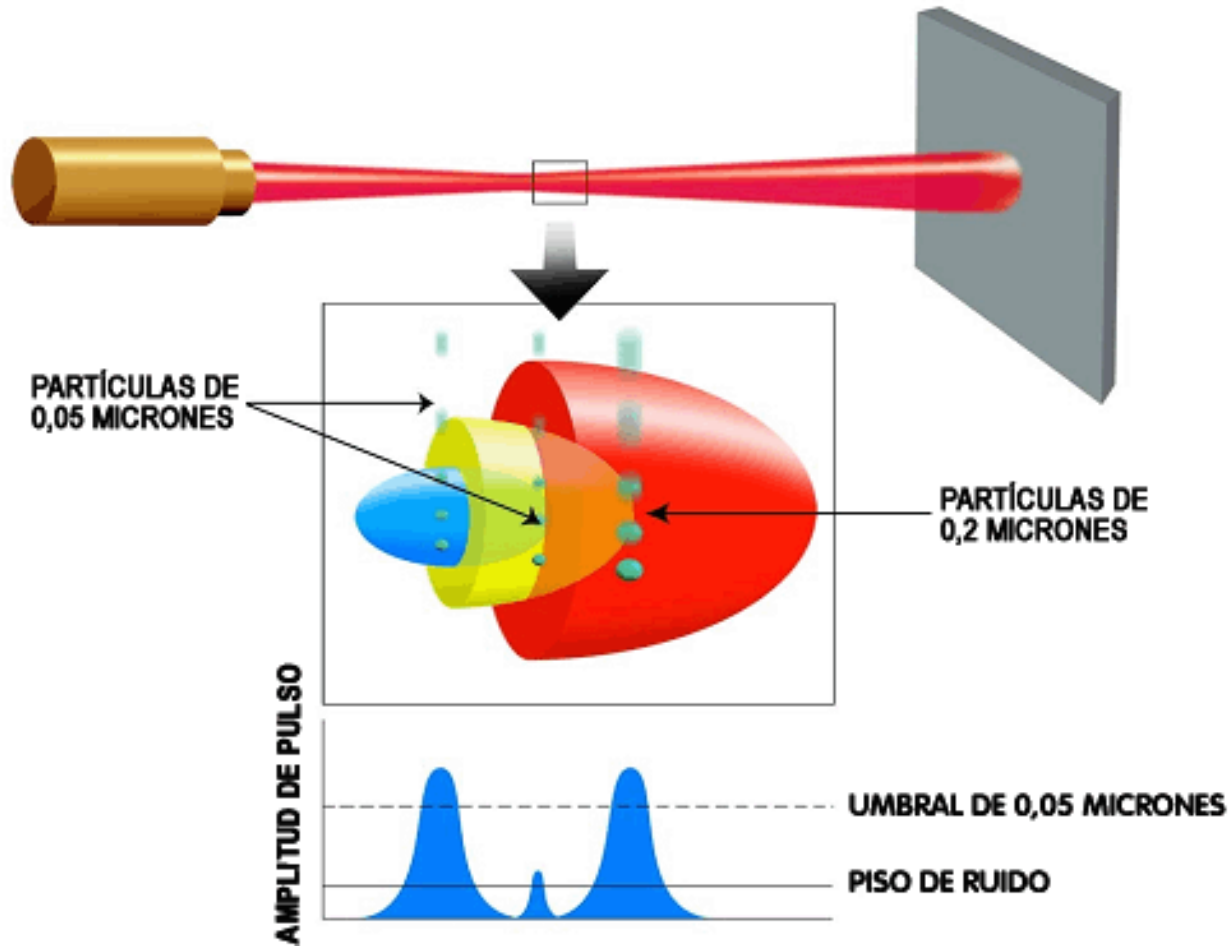
Consideraciones sobre instrumentos



Perfil de intensidad del láser



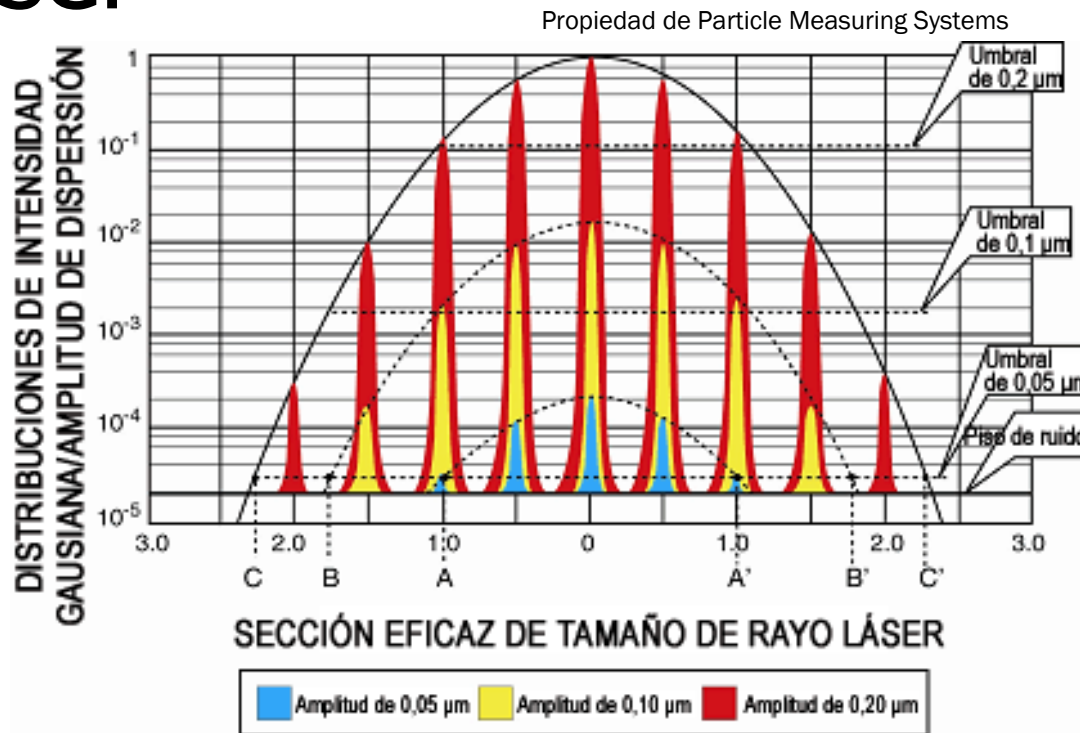
Tamaño vs. perfil de rayo láser



Propiedad de Particle Measuring Systems



Umbrales de tamaño vs. perfil de rayo láser

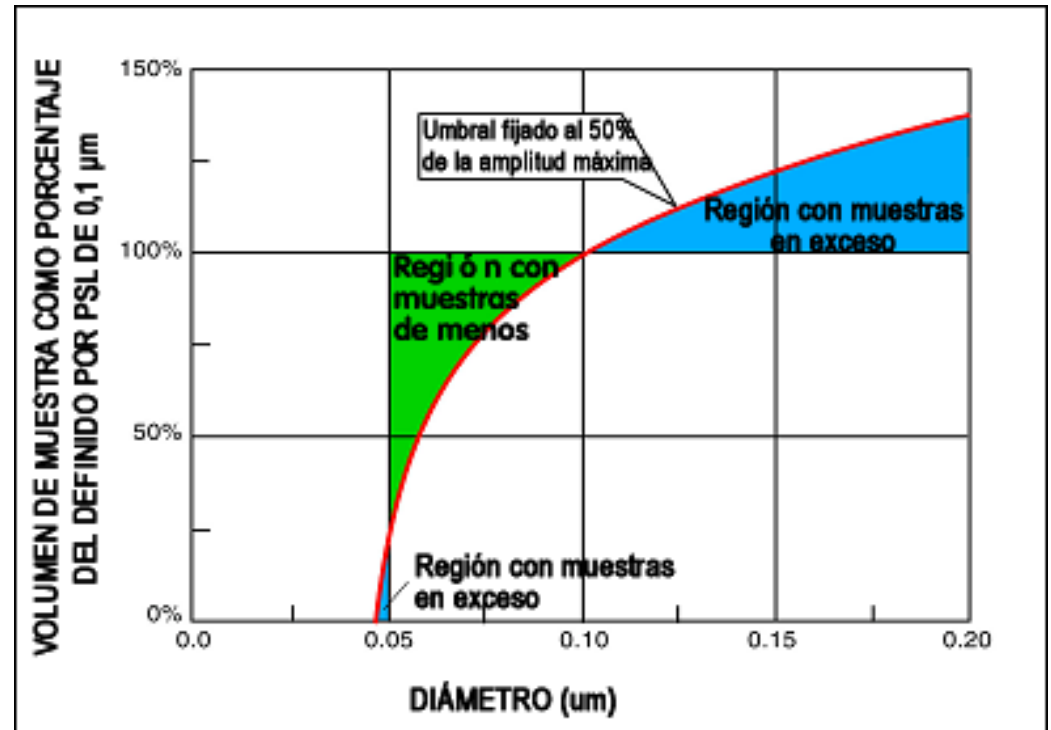


- El tamaño de las partículas sólo se calculará con la mayor exactitud – A hasta A'
- Las partículas grandes se pueden depositar en el primer canal
- Diferencia de 4x en tamaño de partícula = diferencia de 3.000X en la señal



Volumen de muestra para monitores no volumétricos

- Similar al volumétrico, excepto que existe una segunda región de sobreconteo
- El tamaño de las partículas grandes se calcula incorrectamente en el primer canal
- El sobreconteo puede ser significativo para los diseños de contadores de partículas ópticos (OPC) deficientes



Efecto del volumen de muestra

- Sin medición no hay control
 - Sin datos...
 - Supongamos 100 partículas/litro $> 0,05 \mu\text{m}$

Contador de partículas	Volumen de muestra	Tiempo para medir 1 litro de líquido
Ultra DI® 50	3,75 ml/min.	4,4 horas
HSLIS M50e	0,25 ml/min.	2,8 días
Competencia	0,1 ml/min.	6,9 días

Contador de partículas	Volumen de muestra	Tiempo para medir 1 partícula (min.)	Tiempo para medir 20 partículas (hora)
Ultra DI® 50	3,75 ml/min.	2,7	0,9
HSLIS M50e	0,25 ml/min.	40	13,3
Competencia	0,1 ml/min.	100	33,3



Estadísticas de conteo

- La estadística de Poisson se emplea cuando se analizan eventos discretos que se consideran de distribución aleatoria
- Las partículas son eventos discretos distribuidos aleatoriamente en tiempo y espacio, así el "conteo de partículas" se describe mediante la distribución de Poisson
- Estadística de Poisson
 - Media = λ
 - Variancia = λ
 - Desviación normal = $\sqrt{\lambda}$

Implicancias: La variación en las mediciones del conteo de partículas depende principalmente de la cantidad de partículas contadas por unidad de tiempo



Ejemplo

- Supongamos tener 100 partículas por litro a $> 0,05 \mu\text{m}$
- Medidas con Ultra DI® 50
- Límite de control en 3 S.D. por encima del promedio

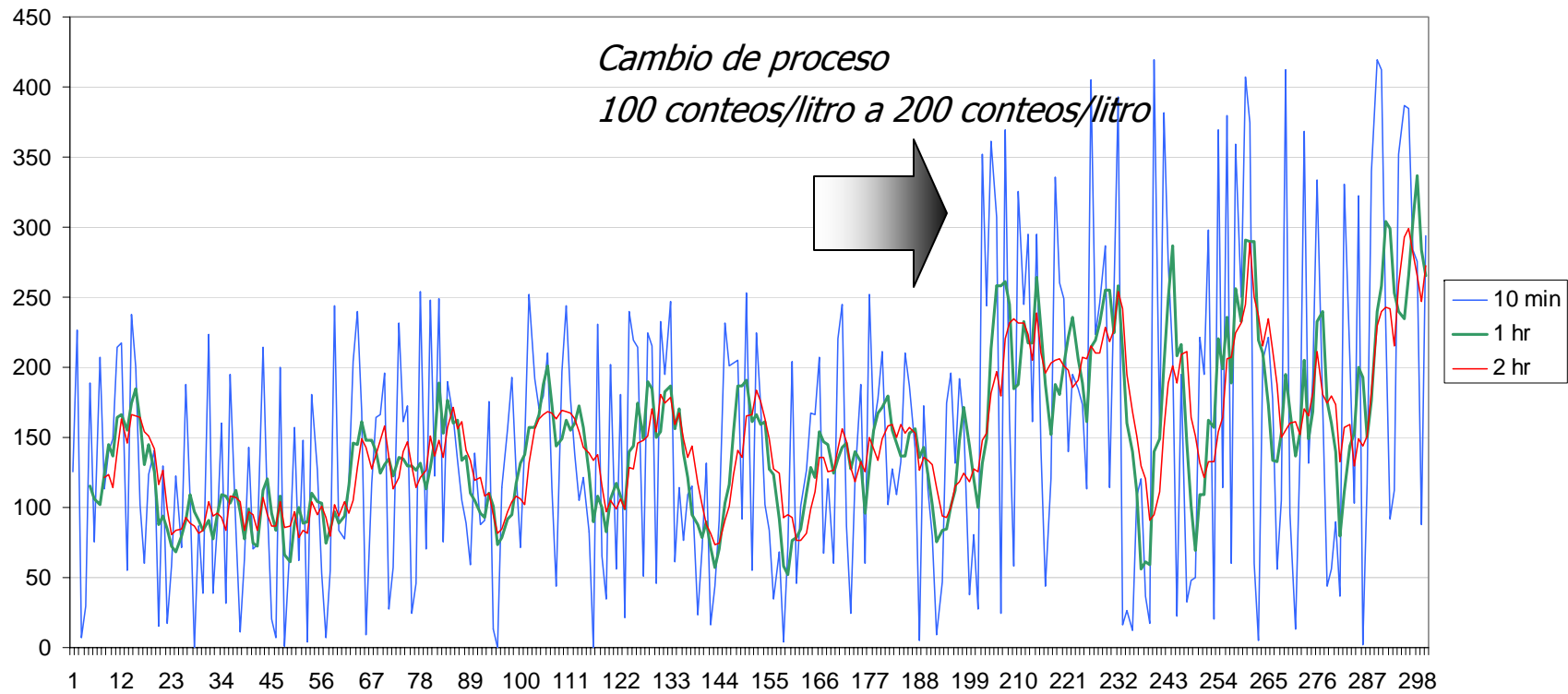


Intervalo de muestra	10 min.	20 min.	1 hr	2 hr	4 hr
Límite de control	250	210	160	140	130



Representación gráfica

Efecto del intervalo de muestra en el conteo (conteos/litro vs. tiempo)



Resumen de estadísticas

- El número total de partículas medidas puede ser muy bajo
 - La alta variación en los resultados ocurre cuando sólo se mide un volumen pequeño y se cuentan pocas partículas
 - Los datos de baja calidad resultantes proporcionan una medida deficiente del rendimiento del sistema
- La estadística de conteos es a menudo el limitador del rendimiento
- Cuantas más partículas se cuentan por unidad de tiempo:
 - Mayor es la capacidad de repetición de la medición
 - Más ajustados son los límites de control
 - Mejor comprensión de las variaciones de proceso
 - Se evitan las excursiones



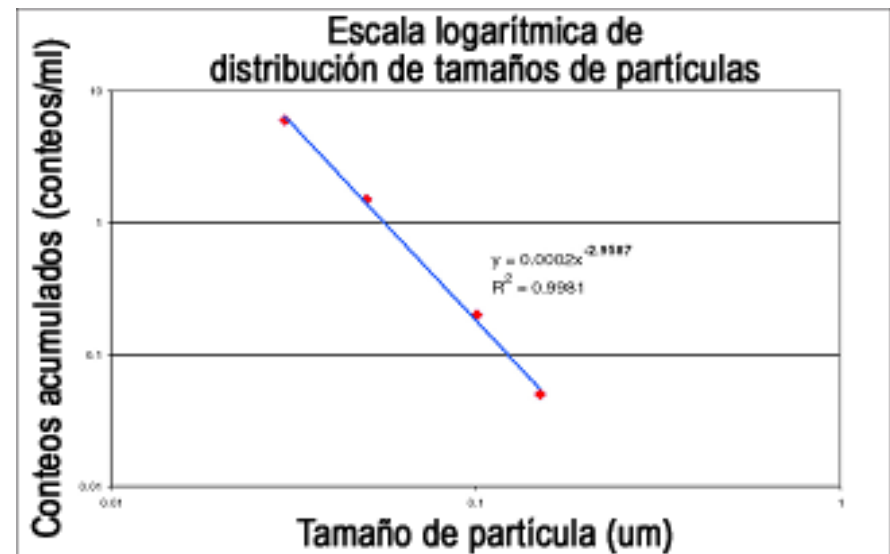
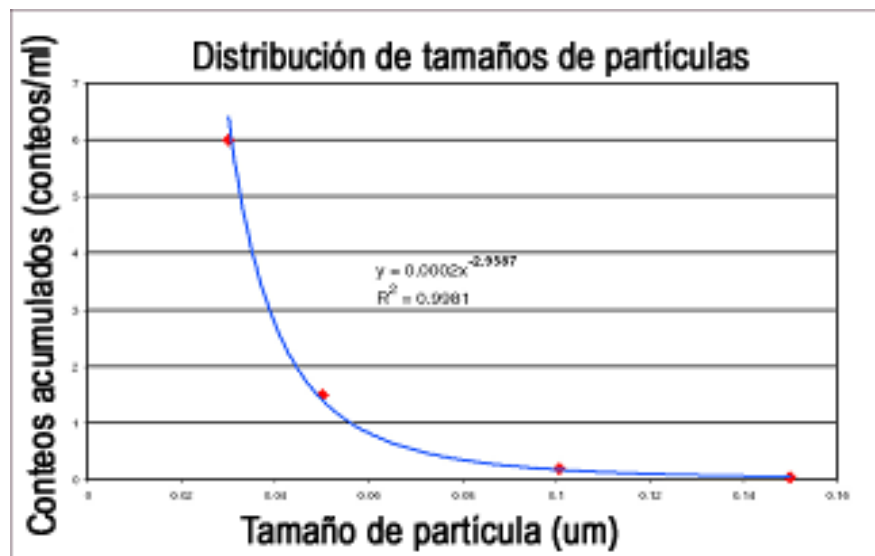
Niveles de conteo a cero

- Cuenta en ausencia de partículas
- La especificación de conteo a cero de Ultra DI® 50 es < 50 conteos/litro
- Supone cero partículas
 - Conteo a cero en 50 por litro
 - 1 conteo promedio cada 5,33 minutos
 - Límite de control 3 S.D. de 83 partículas por litro con intervalos de muestra de 120 minutos
- Conteo a cero afectado por rayos cósmicos, ruido electrónico, etc.



PSD en agua ultra pura

- Distribuciones de tamaño de partículas (PSD) características en UPW
 - $1/(\text{diámetro de partícula})^3$ es característica para UPW
- Más partículas pequeñas que grandes



Impacto de la sensibilidad al tamaño

- Sistema de UPW
 - Distribución de $1/(\text{diámetro})^3$
 - 1 partícula/ml $> 0,05 \mu\text{m}$
- ¿Cuántas partículas $> 0,025 \mu\text{m}$?
 - = (número de partículas $> 0,05 \mu\text{m}$) * $1/(\text{relación de diámetros})^3$
 - $1 * 1/(0,5)^3 = \underline{8 \text{ partículas/ml } > 0,025 \mu\text{m}}$
- Regla general
 - Si el diámetro de partícula disminuye en 2x
 - El número de partículas/ml (caudal) aumenta en 8x



Resumen

- El monitoreo de partículas en una pieza clave del ITRS Roadmap
- Los contadores de partículas ópticos se basan en las medidas del "equivalente óptico" de la dispersión de las esferas de látex de poliestireno (PSL)
- La sensibilidad es sólo una medida del rendimiento del instrumento
- Una métrica crítica de rendimiento es el total de partículas contadas
- El volumen de muestra mayor proporciona más datos y mejores estadísticas de conteo
- Los sistemas de UPW que funcionan correctamente siguen una distribución de tamaño de partícula de $1/\text{diámetro}^3$





**PARTICLE
MEASURING
SYSTEMS**

www.pmeasuring.com

Ross Bryant
Director de marketing
rbryant@pmeasuring.com
303.419.2128

