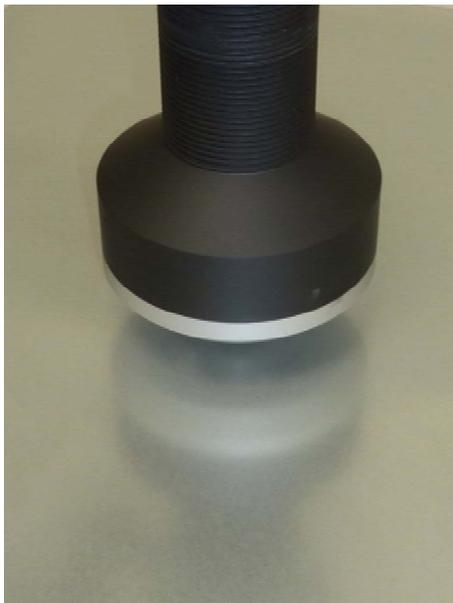


Comunicado de prensa Sensor Instruments

Enero de 2021

Detección de capas de aceite sobre superficies metálicas: una comparación de los métodos de medición.

21/01/2021: Sensor Instruments GmbH: En el mecanizado de metales durante el proceso de conformado, el uso de aceites es esencial. Por ejemplo, los aceites de corte aplicados sobre cintas de metal garantizan un bajo desgaste de las herramientas de troquelado. Pero también durante los procesos de arranque de virutas, los aceites de perforación contribuyen de manera indispensable a la protección de las herramientas de taladrado y fresado. Además, los aceites sirven como protección contra la corrosión para productos semiacabados como chapas metálicas, pero también láminas metálicas. Sin embargo, después del procesado posterior, es necesario eliminar los residuos de aceite de los productos acabados con la menor cantidad de residuos posible. Para ello se utilizan sistemas de limpieza especiales en los que se lavan y se soplan las piezas metálicas.



Es recomendable determinar la cantidad de aplicaciones de aceite para que se puedan cumplir las directivas de protección del medio ambiente durante la aplicación de aceite y, además, se tengan en cuenta los aspectos económicos. Actualmente se puede determinar la cantidad de aceite correspondiente también EN LÍNEA. Hay varios métodos de medición disponibles para este propósito en los que se profundizará con más detalle en los siguientes apartados. El proceso de limpieza se puede monitorizar mediante los mismos sensores. Sin embargo, el desafío aquí es registrar preferentemente EN LÍNEA de forma segura la menor cantidad posible de residuos de aceite. Precisamente en los componentes conductores de electricidad, p. ej., barras de cobre o conductos de alto voltaje, se requiere la menor resistencia de contacto posible. Sin embargo, una capa de aceite residual supondría un problema a este

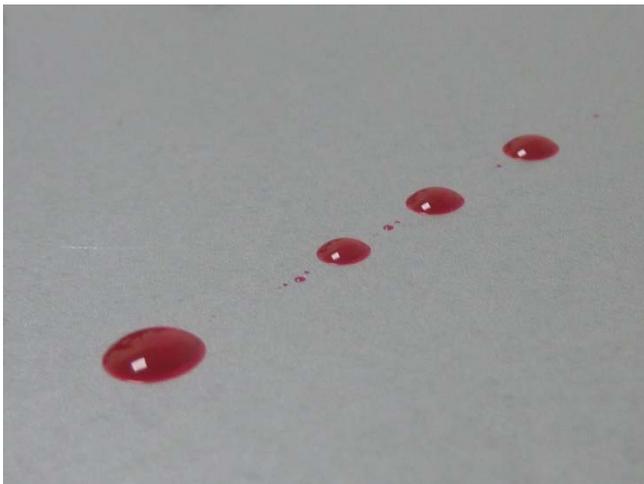
respecto, dado que esto afectaría considerablemente a la eficiencia del rendimiento.

¿Cómo se han realizado los controles hasta ahora en la práctica?

Cuando se habla de capas de aceite, todos pensamos inmediatamente en un determinado espesor de capa, medido, p. ej., en μm . Un método común para esto sería determinar el peso básico de la película de aceite. Sin embargo, para determinarlo se debe determinar el peso de todo el componente. Condición previa para esto son una báscula precisa y un componente exactamente idéntico no engrasado para determinar la diferencia de peso. Para poder inferir el espesor de la capa a partir del peso básico se requiere también información sobre la densidad del aceite correspondiente y la superficie del componente en cuestión. La considerable diferencia de peso entre la capa de aceite real y el peso del componente no conduce exactamente a una determinación

exacta del espesor de la capa de aceite. Además, otra fuente de error es la diferencia de peso entre los componentes (de componente a componente), cada uno en un estado no engrasado.

La falta de alternativas sencillas para la determinación directa del espesor de capa es probablemente la razón por la cual el método para determinar la tensión superficial del componente objeto de análisis goza de una popularidad creciente en la práctica. Con la presencia de una fina capa de aceite sobre una superficie metálica se puede observar al mismo tiempo una reducción de la tensión superficial de más de 50 mN/m, en estado no humedecido, a menos de 40 mN/m en estado engrasado (dependiendo del espesor de la capa y el tipo de aceite). Las denominadas tintas de prueba se utilizan para verificar la tensión superficial correspondiente y cubren un rango total de 30 mN/m a 50 mN/m en pasos de dos (30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, etc.). La tinta de prueba se aplica en forma de línea en la posición que se debe examinar con el pincel incluido en la botella. Si la tinta de prueba se contrae en forma de gotas tras aplicarse sobre la superficie, la siguiente tinta de prueba inferior se utiliza de la misma manera hasta que la tinta de prueba permanece adherida sobre la superficie durante un tiempo prolongado y, por lo tanto, no se contrae en forma de gotas. Por lo tanto, la tensión superficial se encuentra entre las dos últimas tintas de prueba utilizadas. Además se puede observar que una disminución de la tensión superficial implica un aumento del espesor de la capa de aceite.



La tinta de prueba se contrae en forma de gotas tras aplicarla sobre la superficie metálica con película de aceite, lo que indica que la tensión superficial está por debajo del valor indicado en la tinta de prueba.



En esta ilustración la tinta de prueba se adhiere a la superficie metálica que se ha humedecido con aceite o se ha desengrasado. Por lo tanto, la tensión superficial de la superficie metálica es superior al valor indicado de la tinta de prueba.

Los tres métodos de medición diferentes

Método de medición 1:

Absorción de radiación UVC (longitud de onda central de 265 nm) a través de la capa de aceite

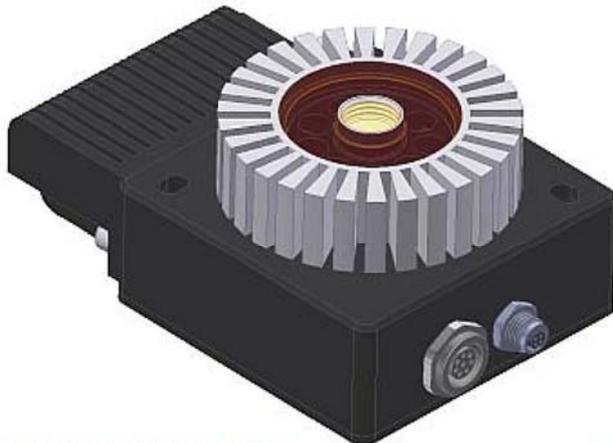
Como unidad de sensor se utiliza un sensor de guía de luz (**SPECTRO-1-FIO-UVC/UVC**) en modo de luz reflejada. Un LED UV con una longitud de onda central de 265 nm sirve como fuente de luz. Mediante una guía de luz de fibra de cuarzo (**R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV**) se apunta la luz UVC a la sección de la superficie metálica que se debe medir y desde la misma y se refleja en parte de forma difusa y en parte directamente. Parte de la radiación reflejada se apunta al detector integrado en el sensor con la ayuda del haz de guía de luz reflexiva. Una superficie metálica desengrasada y no humedecida con aceite (debe ser del mismo material y de la misma estructura superficial que en las mediciones posteriores) sirve como referencia. Si ahora hay una capa de aceite entre la cara frontal de la guía de luz y la de la superficie metálica, esta absorbe una parte de la luz UVC tanto en el trayecto de ida como en el trayecto de vuelta. Por tanto, se puede observar una disminución de la señal en el lado del detector. Si los sensores se utilizan para la medición EN LÍNEA, se recomienda una distancia de trabajo de aproximadamente 5 mm entre la cara frontal de la guía de luz y la superficie metálica. La divergencia del rayo es de 22° y el punto de luz tiene un diámetro de aproximadamente 5 mm en la superficie metálica objeto de análisis. En las mediciones FUERA DE LÍNEA se utiliza además un distanciador (**A3.0-OFL**) que se puede fijar en el cabezal de la guía de luz.



Método de medición 2:

Excitación de una capa de aceite para la fluorescencia en el rango de longitud de onda visible utilizando luz UVA (longitud de onda central de 365 nm)

Para este fin se utiliza un sensor de color (**SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA**) cuya unidad emisora consta de LED UV (longitud de onda central de 365 nm). Se recomienda una distancia de trabajo de 15 mm para las mediciones EN LÍNEA. Sin embargo, con el distanciador (**SPECTRO-3-15-d65-OFL**) también se puede trabajar FUERA DE LÍNEA (aquí también, la distancia del sensor al objeto es de 15 mm). A esta distancia, el área de detección tiene un diámetro de aproximadamente 12 mm.



SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA

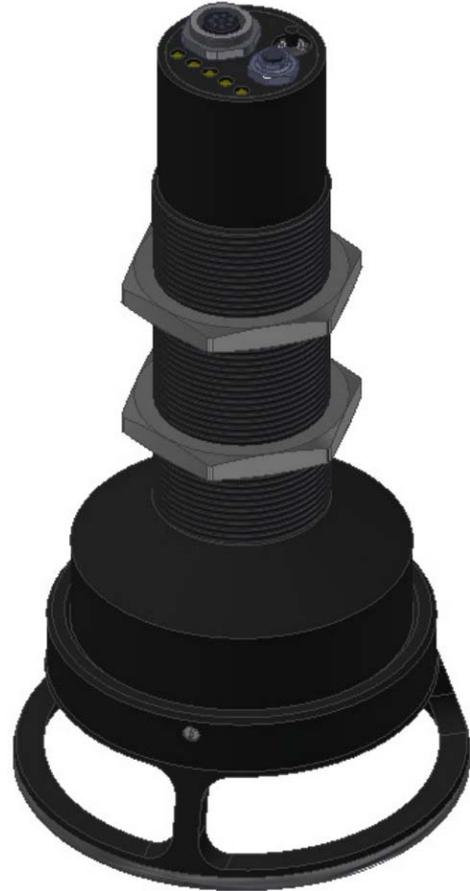
SPECTRO-3-15-d65-OFL

Los LED UV están dispuestos de forma anular. En el centro del sistema de sensores se encuentra la parte del receptor, que puede hacer detecciones en el rango de longitud de onda visible mediante filtros ópticos preconnectados mientras que la luz UV está bloqueada. También con este método de medición debería tenerse en cuenta que la intensidad de la fluorescencia medida depende, entre otras cosas, de la superficie metálica, dado que esta sirve como reflector. Por tanto, es absolutamente necesaria una calibración en la superficie respectiva o en la forma del objeto correspondiente.

Método de medición 3:

Absorción de luz MIR (longitud de onda central de 3 μm) a través de una capa de aceite

Una fuente de luz MIR de banda ancha que cubre un rango de longitud de onda de aproximadamente 2 μm a 6 μm sirve como unidad de iluminación. Con la ayuda de dos receptores que tienen diferentes filtros ópticos, se lleva a cabo una evaluación de señal normalizada. Al hacerlo, el receptor 1 hace detecciones en un rango de longitud de onda estrecha con una longitud de onda central de aproximadamente 3 μm , mientras que el receptor 2, que también opera en una banda estrecha, está equipado con una longitud de onda central de aproximadamente 4 μm . Al mismo tiempo, el receptor 2 actúa como referencia, dado que su rango de longitud de onda está influido imperceptiblemente por la capa de aceite en comparación con el rango de longitud de onda del receptor 1. Por otro lado, tiene lugar una reflexión de la superficie metálica en ambos rangos de longitud de onda. Una evaluación normalizada de las dos señales de medición proporciona información sobre la absorción de la capa de aceite; el resultado es, en gran medida, independiente de la superficie metálica existente. La distancia de medición desde el sistema de sensor (**SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)**) a la superficie metálica es de 10 mm durante la medición EN LÍNEA, el área de detección es de 10 mm de diámetro. No se pudo apreciar un deterioro de la medición debido a la luz ambiente (iluminación interior LED de luz blanca); como consecuencia es posible trabajar con una frecuencia de medición alta (> 1 kHz). Para la medición FUERA DE LÍNEA hay disponible un distanciador (**SPECTRO-M-30-OFL**) que también asegura una distancia de medición a la superficie metálica de 10 mm.



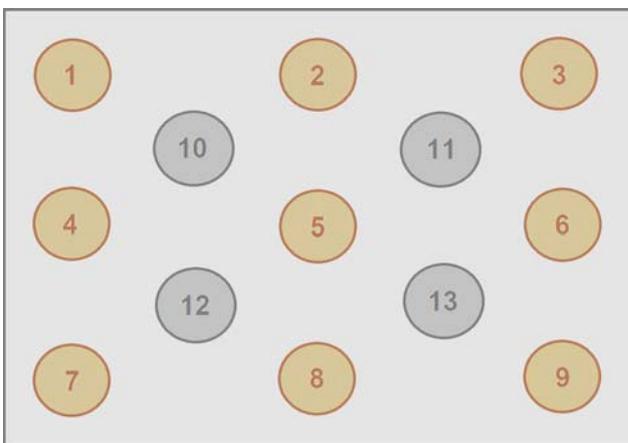
SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)



SPECTRO-M-30-OFL

La estructura de medición

Como objeto de medición se utilizó una placa de acero inoxidable sobre cuya superficie se aplicaron capas de aceite de diferentes espesores del mismo aceite en cada caso (las capas de aceite se sitúan aquí entre $<1 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$ aproximadamente). Las pruebas se realizaron utilizando cantidades de aceite de diferente tamaño (en los sectores 1, 2, 3: cantidad media de aceite, en los sectores 4, 5, 6: cantidad pequeña de aceite, y en los sectores 7, 8, 9: cantidad abundante de aceite). A continuación, la mancha de aceite se aplicó de forma homogénea con un paño desechable (sin pelusas) sobre un diámetro de unos 60 mm. Este proceso se llevó a cabo en todos los sectores detallados. Además, la cantidad de aceite ya aplicada en los sectores 2, 3, 5, 6, 8 y 9 se volvió a aplicar utilizando un paño desechable sin cambiar el diámetro del sector correspondiente. Este proceso se repitió una vez más en los sectores 3, 6 y 9.

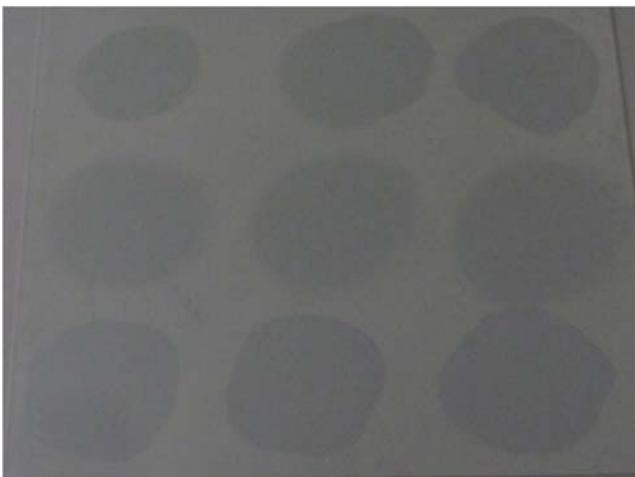


1, 2 y 3: espesores de capa medios (disminuyendo de 1 a 3)

4, 5 y 6: espesores de capa bajos (disminuyendo de 4 a 6)

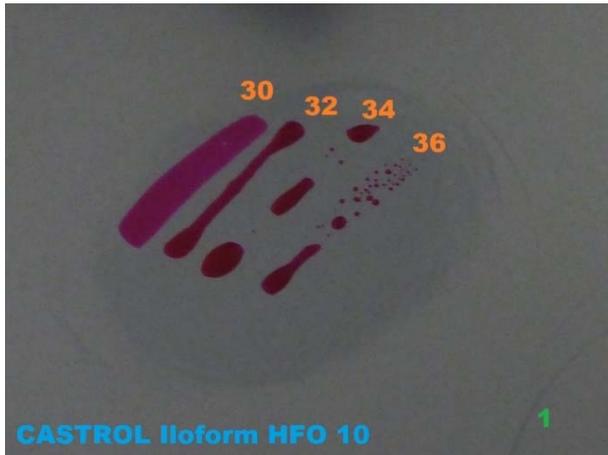
7, 8 y 9: espesores de capa grandes (disminuyendo de 7 a 9)

10, 11, 12 y 13: sectores que sirven para la medición de referencia (sectores sin aplicación de aceite)



Placa de acero inoxidable con los 9 sectores diferentes. Después de las pruebas correspondientes con un determinado tipo de aceite, la placa de metal se limpió de aceite (se desengrasó) sin apenas dejar residuos. Para poder comprobar si el aceite se ha eliminado de la superficie de metal mediante las pruebas anteriores, se realizaron mediciones también entre las aplicaciones de aceite individuales (sectores 1-9). Estas áreas fueron designadas como sectores 10-13

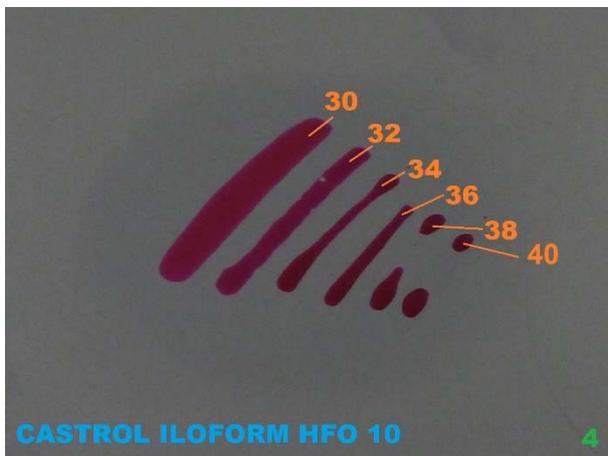
Como ya se mencionó al principio, la tensión superficial en los sectores correspondientes sirve como referencia para las mediciones respectivas. Esta tensión superficial se determinó mediante las tintas de prueba disponibles (desde 30 mN/m a 50 mN/m) después de las mediciones con los 3 sensores diferentes para cada tipo de aceite. (La tinta de prueba se aplicó a los sectores correspondientes, viéndose afectado el resultado de la medición por la autofluorescencia de la tinta de prueba, la absorción o la reflexión adicional).



Muestra de aceite: CASTROL Iloform HFO 10

Tintas de prueba: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m y 36 mN/m

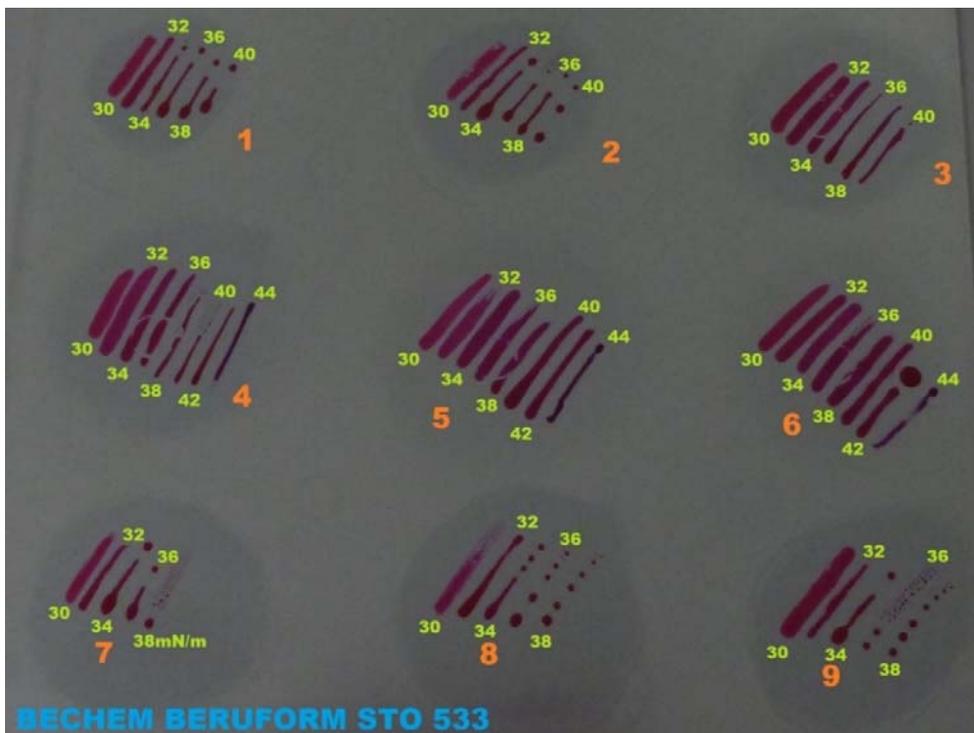
Sector: 1



Muestra de aceite: CASTROL Iloform HFO 10

Tintas de prueba: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, 36 mN/m, 38 mN/m y 40 mN/m

Sector: 4



Muestra de aceite: BECHEM BERUFORM STO 533

Tintas de prueba empleadas: de 30 mN/m a 44 mN/m en los 9 sectores diferentes

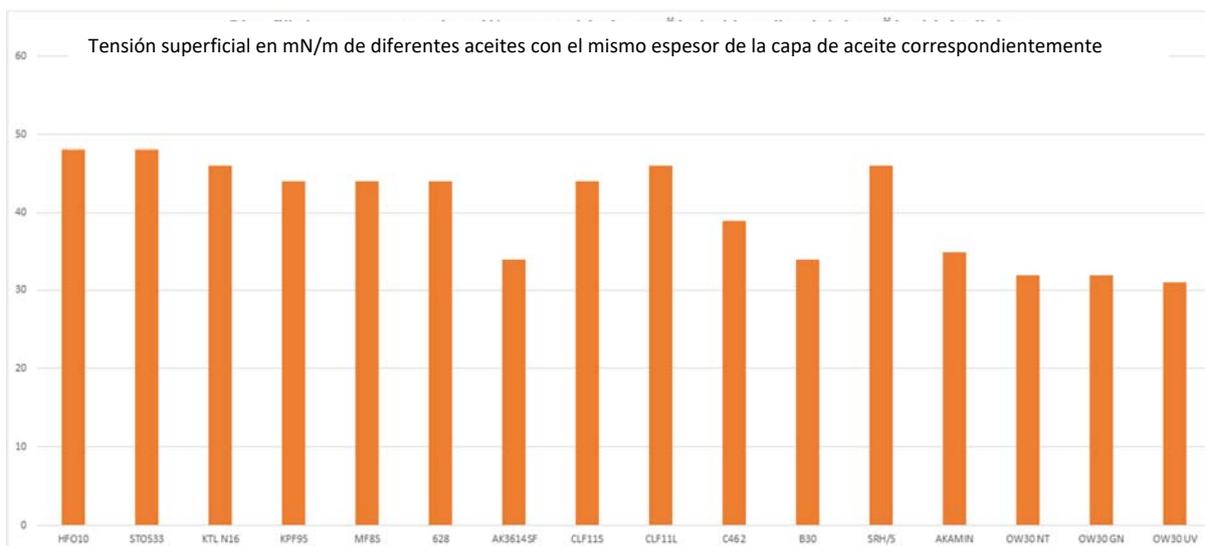
Las muestras de aceite

Para las pruebas estaban disponibles los siguientes aceites:

- CASTROL HFO10
- BECHEM STO533
- Z+G KTL N16
- BECHEM KFP95
- BECHEM MF85
- WILKE 628
- WISURA AK3614SF
- RAZIOL CLF11S
- RAZIOL CLF11L
- TRUMPF C462
- TRUMPF B30
- TRUMPF SRH/5
- TRUMPF AKAMIN
- OW 30 NEUTRO
- OW 30 0.01% VERDE
- OW 30 0.01% COLOR UV

Comparación de la tensión superficial de los diferentes aceites con aproximadamente el mismo espesor de capa de aceite

La investigación de los diferentes aceites ha demostrado que la tensión superficial, con aproximadamente el mismo espesor de capa de aceite, tiene diferentes valores dependiendo del aceite correspondiente:



Los valores de tensión superficial se compararon en cada caso en el sector 6, es decir, la menor cantidad de aceite aplicada (espesor de capa <math><1 \mu\text{m}</math>). Por lo tanto, no es posible llegar a una conclusión sobre la tensión superficial del espesor de la capa de aceite sin conocer el aceite.

Los resultados de medición

Método de medición 1:

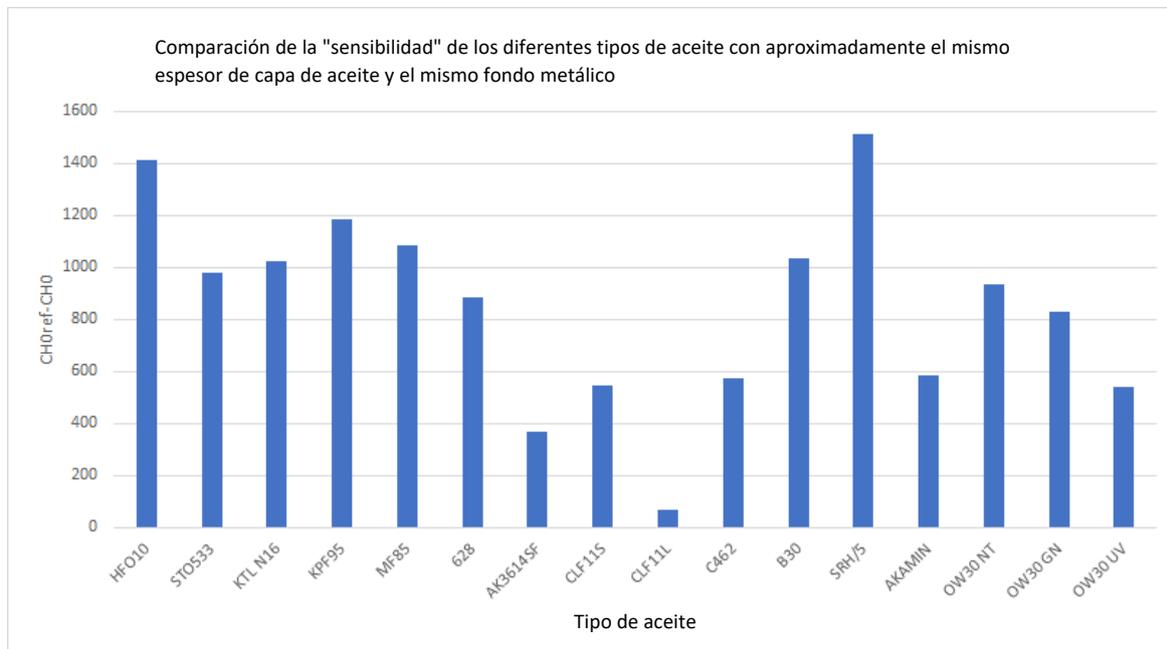
Absorción de radiación UVC (longitud de onda central de 265 nm) a través de la capa de aceite

Las mediciones se realizaron mediante el sensor de guía de luz **SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC)** incluyendo la guía de luz reflexiva **R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV** y el accesorio fuera de línea de la guía de luz **A3.0-OFL** inicialmente para cada tipo de aceite en los sectores 10 a 13 (determinación de los valores medidos y la tensión superficial de la superficie metálica desengrasada, que sirve como referencia) y, después, en los sectores 1 a 9. El cabezal de la guía de luz, incluido el accesorio fuera de línea, se colocó en el centro del sector correspondiente.



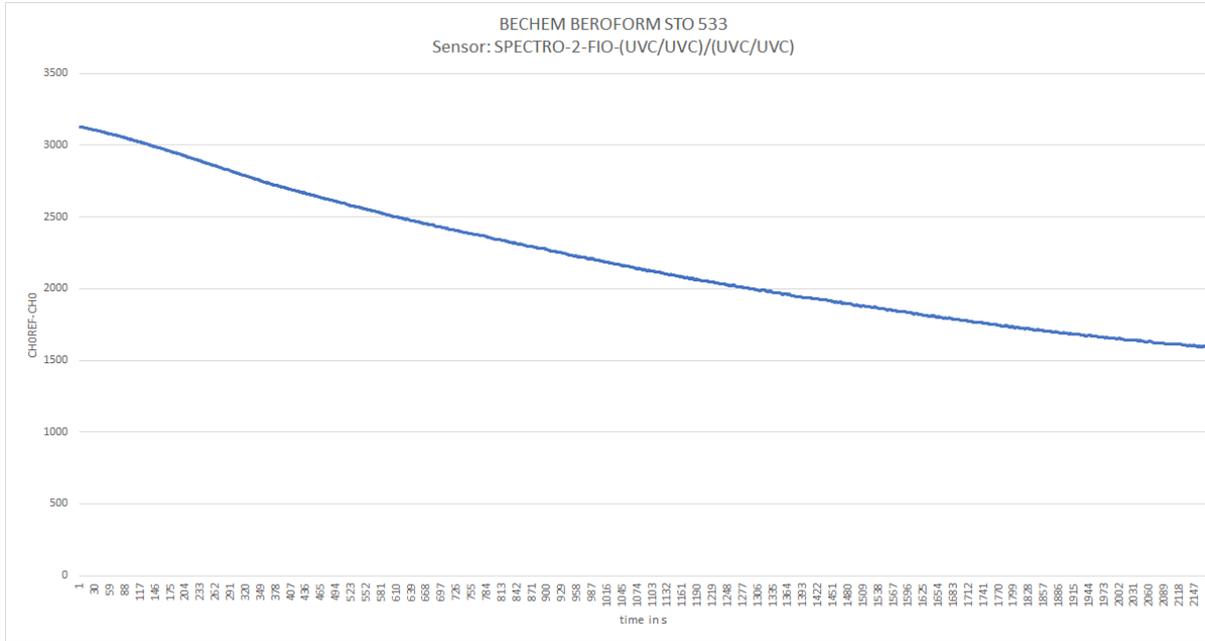
Comparación de las sensibilidades de los diferentes aceites con el mismo espesor de capa de aceite

Sin embargo, las investigaciones de los tipos de aceite existentes mediante el método de medición 1 llevaron a resultados de medición significativamente diferentes, como puede verse en el siguiente diagrama:



Se midió la caída de la señal de la radiación UVC Ch_{0ref} reflejada desde la superficie metálica y detectada por la guía de luz menos la radiación UVC CHO reflejada desde la superficie metálica y reducida tanto en el trayecto de ida como en el trayecto de regreso (por absorción). La relación de la diferencia $CH_{0ref}-CHO$ entre la muestra de aceite que absorbe con más intensidad y la muestra de aceite que se comporta de manera más o menos neutra, es aproximadamente un factor de 22.

Investigación de la absorción UVC de una capa de aceite en función del tiempo

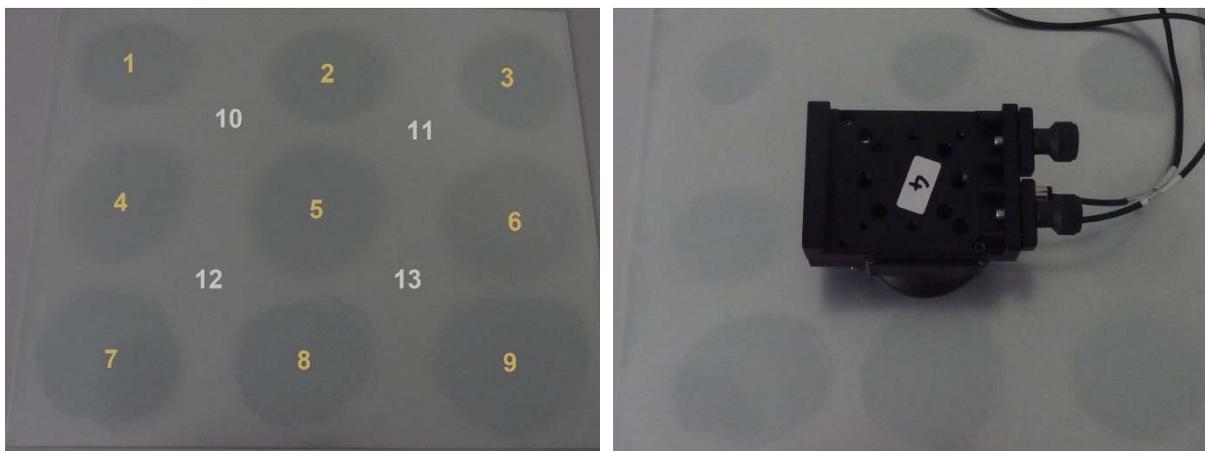


En este método de medición se colocó el extremo frontal de la guía de luz A3.0-OFL en un determinado punto de la película de aceite durante un tiempo prolongado y se registró el curso de la señal CHO durante este tiempo.

Se observó una disminución significativa en la absorción ($\Delta = 1600$) de la radiación UVC durante un período de 36 minutos ($CH_{0ref} = 3975$), lo que corresponde a una disminución relativa en el efecto de absorción en un factor de 2. Por tanto, a la hora de determinar el valor medido es decisivo el momento en el que se coloca el cabezal de medición en la muestra de aceite correspondiente.

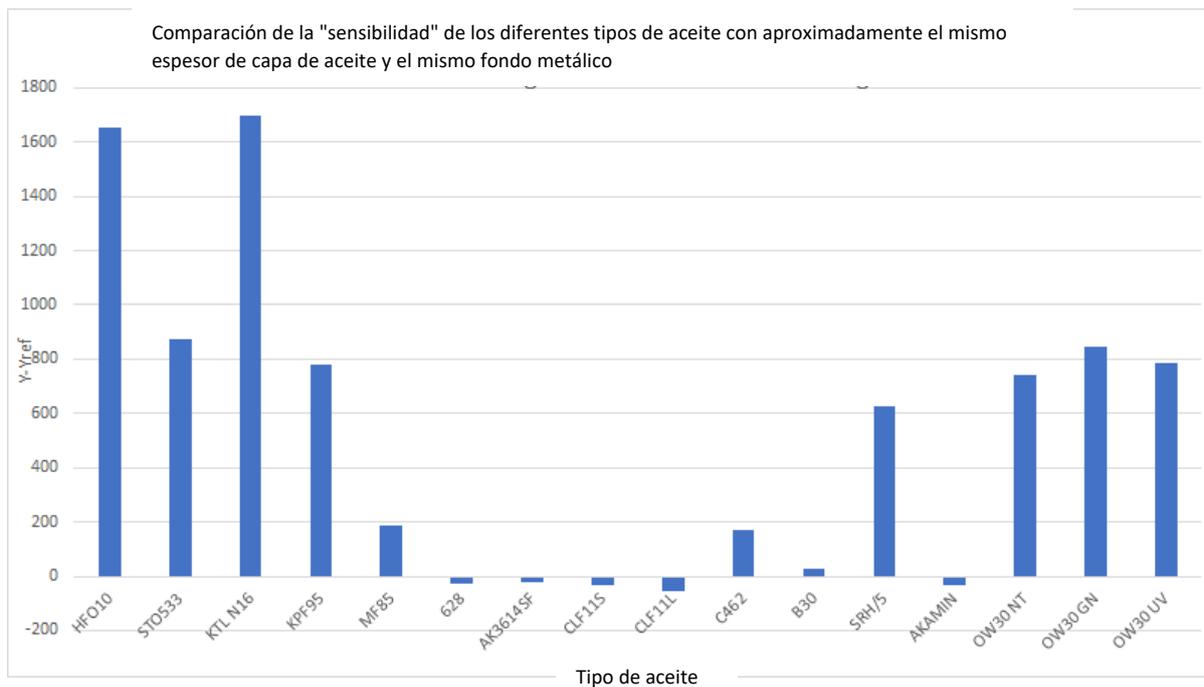
Método de medición 2:

Emisión secundaria en el rango de longitud de onda visible (fluorescencia) con excitación en el rango UVA (365 nm)



Se utilizó como sensor un **SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA** con iluminación de anillo de luz UVA (365 nm) y un rango de detección en el lado del receptor de típicamente 450 nm a 700 nm. El sistema EN LÍNEA se equipó con un distanciador **SPECTRO-3-15-d65-OFL** en la parte frontal para que aquí también se pudieran realizar mediciones en la superficie. Primero, se calculó de nuevo un valor de referencia promedio en los puntos de referencia (10-13) y, después, se tomaron medidas sucesivamente en los puntos 1-9 para cada muestra de aceite.

Comparación de las sensibilidades de los diferentes aceites con el mismo espesor de capa de aceite



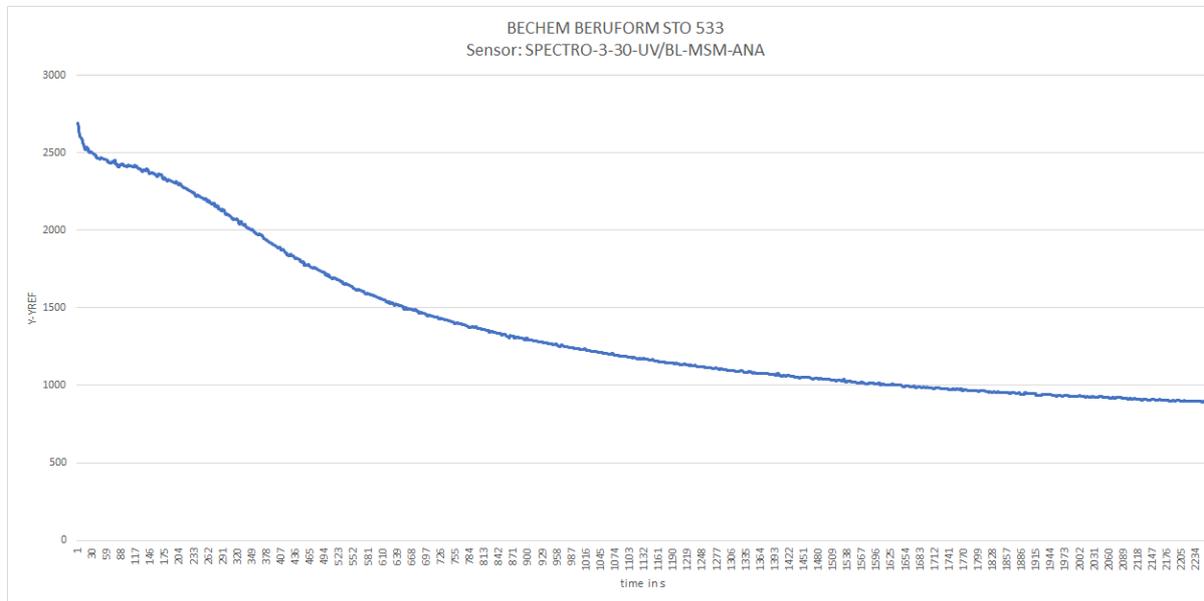
Con este método de medición también hubo grandes diferencias en el valor $Y-Y_{ref}$ con el mismo espesor de capa de aceite de los tipos de aceite individuales. Si no se tienen en cuenta los tipos de aceite que no tienden a la fluorescencia, existe una diferencia de aproximadamente 61 entre la muestra más sensible (Z + G KTL N16) y la menos sensible (TRUMPF B30).

Para los siguientes tipos de aceite, no se pudo determinar la fluorescencia con una excitación en el rango UVA:

- WILKE 628
- WISURA AK 3614SF
- RAZIOL CLF 11S
- RAZIOL CLF 11L
- TRUMPF AKAMIN

Investigación de la fluorescencia en el rango de longitud de onda visible con excitación UVA de una capa de aceite en función del tiempo

Los sensores se colocaron en un determinado punto de medición durante un período prolongado (unos minutos) y se registró la intensidad de la señal Y durante este período.

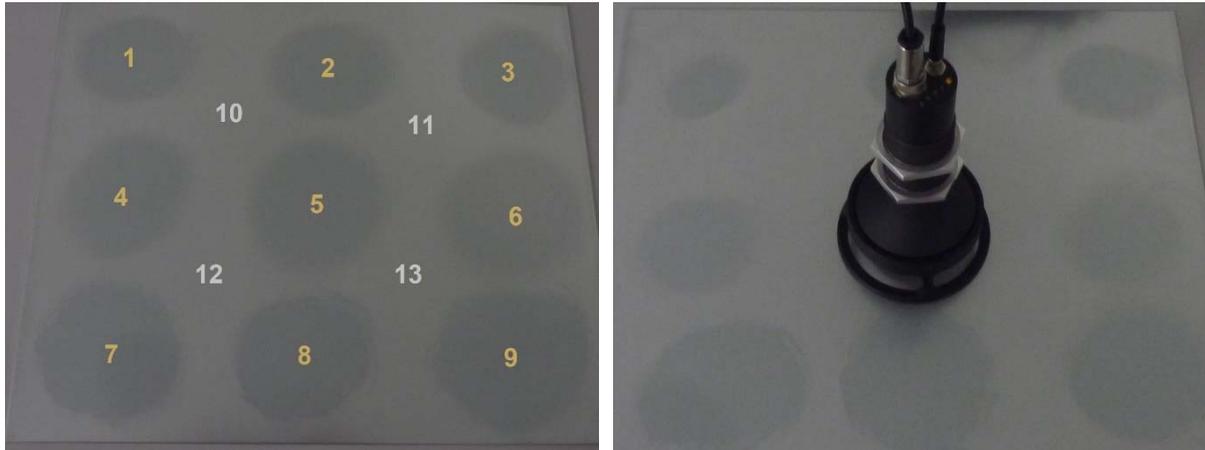


Por ejemplo, con el tipo de aceite BECHEM BERUFORM STO533 se pudo determinar una disminución en la señal de fluorescencia $Y-Y_{ref}$ en un factor de 3 durante un período de aprox. 38 minutos. Por tanto, también en este método de medición es crucial para la determinación de la tensión superficial en la ubicación de medición respectiva saber cuándo se registró exactamente el valor medido después de colocar los sensores. Sin embargo, con el uso EN LÍNEA de los sensores, esto debería desempeñar un papel menos importante, dado que en este caso cada prueba de medición solo está expuesta a la radiación UVA relativamente intensa durante un corto periodo de tiempo y, por lo tanto, el valor medido se puede calcular en el mismo plazo después del posicionamiento. Al hacerlo, el proceso sincronizado en el tiempo tiene lugar entre el controlador lógico programable (PLC) y los respectivos actuadores.

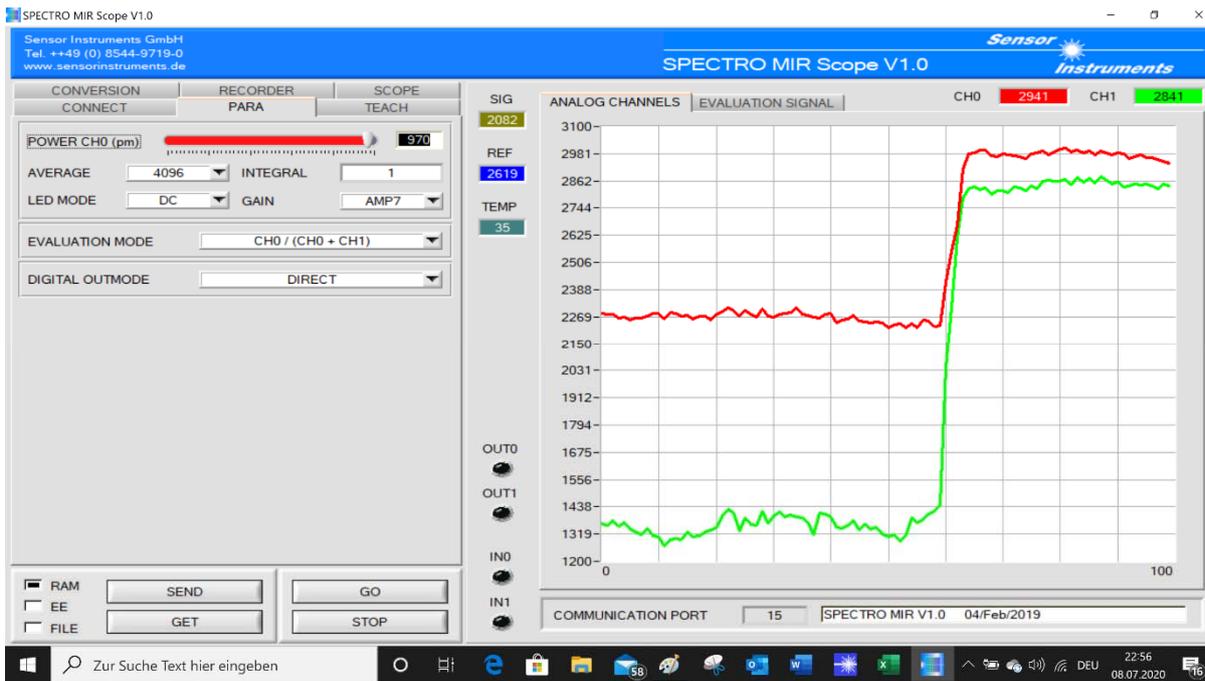
Método de medición 3:

Comparación normalizada de dos rangos de longitud de onda en el rango del infrarrojo medio (MIR)

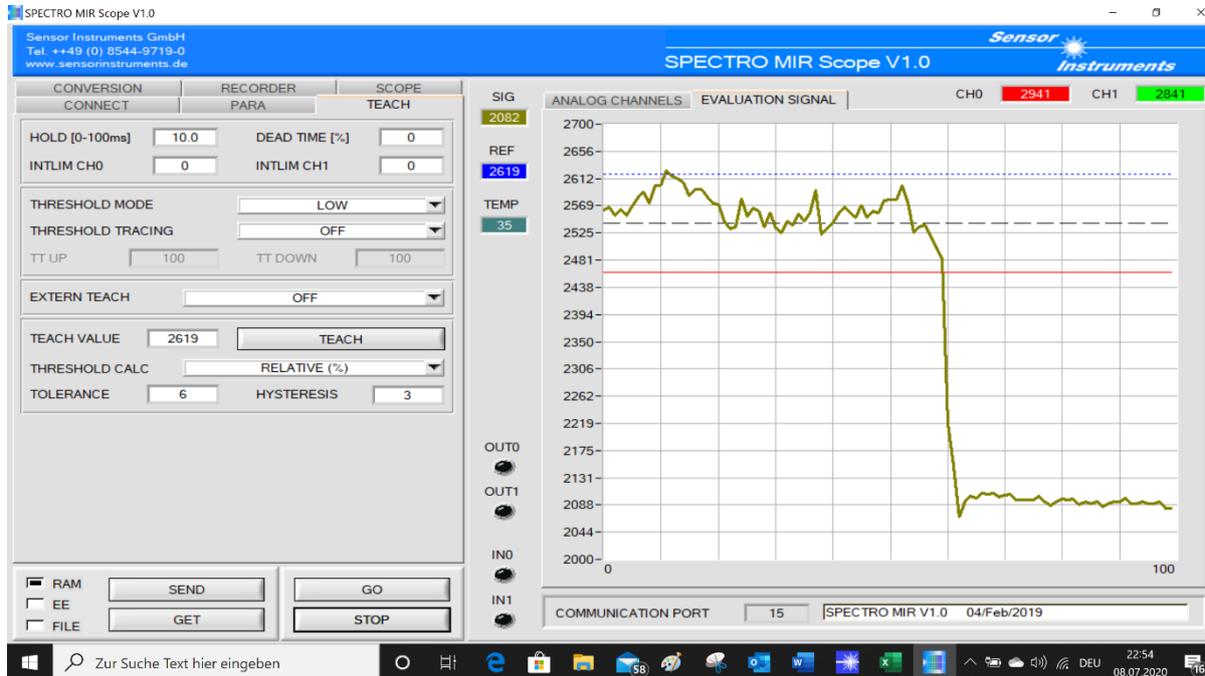
Para ello se utilizó **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** como sensor. Aquí también se consideraron los puntos de medición 1-9, mientras que las posiciones 10-13 se usaron como ubicaciones de referencia. Con el distanciador **SPECTRO-M-30-OFL**, el sistema de medición EN LÍNEA se convirtió rápidamente en un equipo de medición manual. La distancia a la superficie de medición era de 10 mm. El valor medido normalizado resulta de los dos valores medidos determinados en las dos ventanas de medición en el MIR con las longitudes de onda centrales de $3 \mu\text{m}$ y $4 \mu\text{m}$, esta última sirviendo como ventana de referencia, dado que investigaciones espectrométricas previas han demostrado que en este rango de longitud de onda no se presenta ninguna absorción apreciable de la radiación MIR.



Durante las mediciones, se estableció una conexión al ordenador a través de una interfaz serial. La parametrización de los sensores, así como la visualización numérica y gráfica de los datos de medición, se realizó mediante el software de Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**.



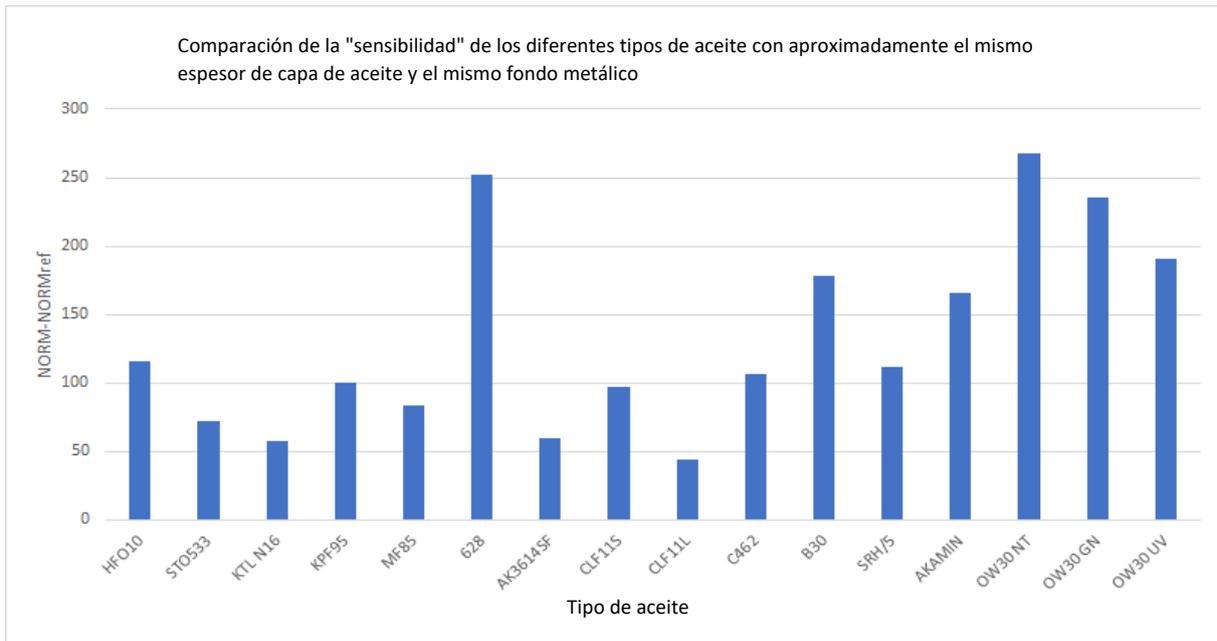
Además de la visualización de los dos valores medidos CH0 (valor de referencia a 4 µm) y CH1 (valor medido a 3 µm), también se muestra el valor normalizado SIG = $4095 \times CH0 / (CH0 + CH1)$.



El software **MIR MONITORING** también se puede utilizar para mediciones EN LÍNEA. Al mismo tiempo, el operador de la instalación puede ver la situación actual de la calidad y la tendencia en el monitor durante la producción a través de un diagrama de barras. Además, los datos de medición se guardan en un formato adecuado de modo que, después, se puedan utilizar con Word® o Excel®.

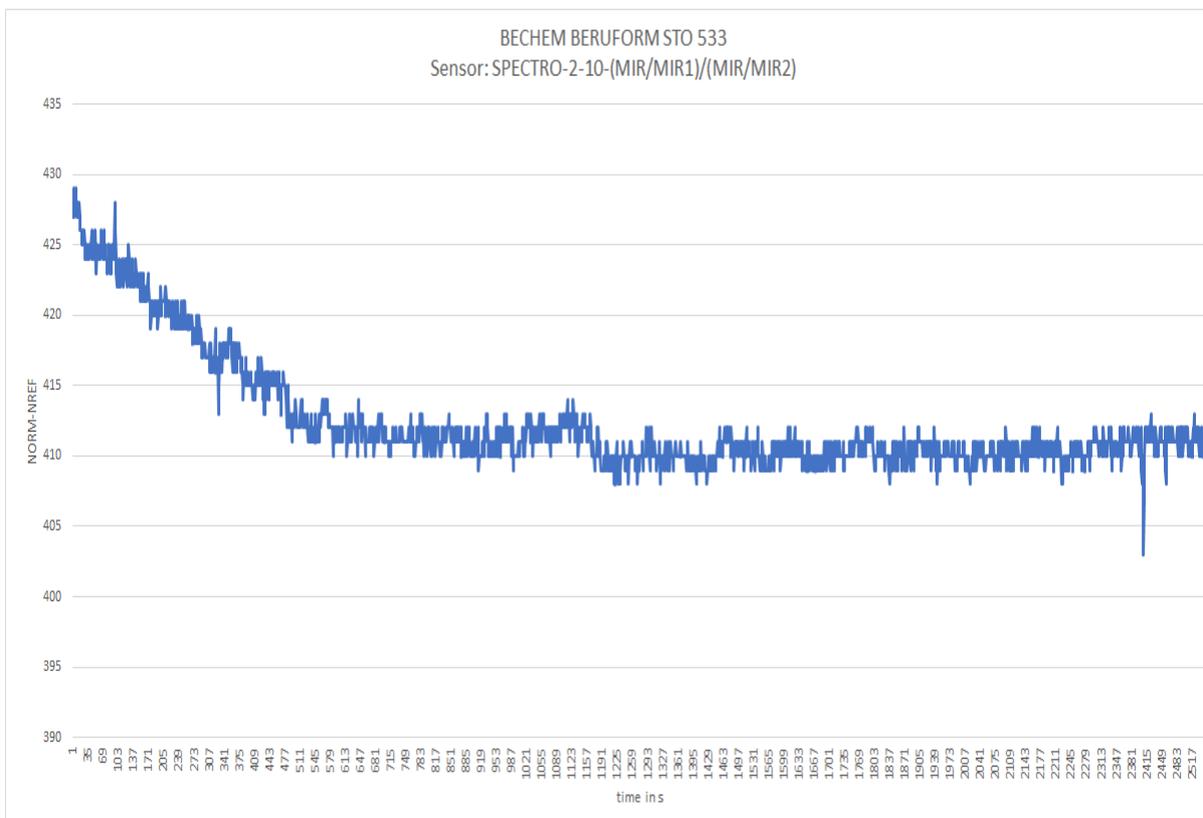
Comparación de las sensibilidades de los diferentes aceites con el mismo espesor de capa de aceite

Con este método de medición también se pudieron determinar las diferencias de sensibilidad entre los diferentes tipos de aceite (con un espesor de capa comparable). Sin embargo, en comparación con los dos otros métodos de medición, se pudieron detectar todos los tipos de aceite y la diferencia entre la muestra más sensible y la menos sensible fue de tan solo factor de 7.



Investigación de la absorción normalizada de luz MIR en los rangos de longitud de onda alrededor de 3 μm o 4 μm de una capa de aceite en función del tiempo

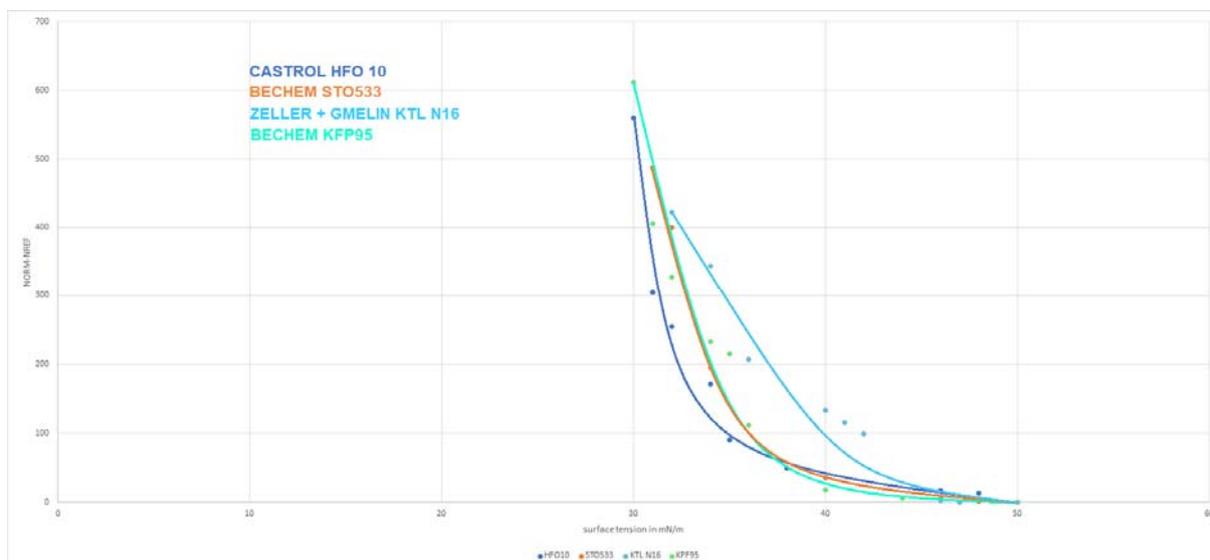
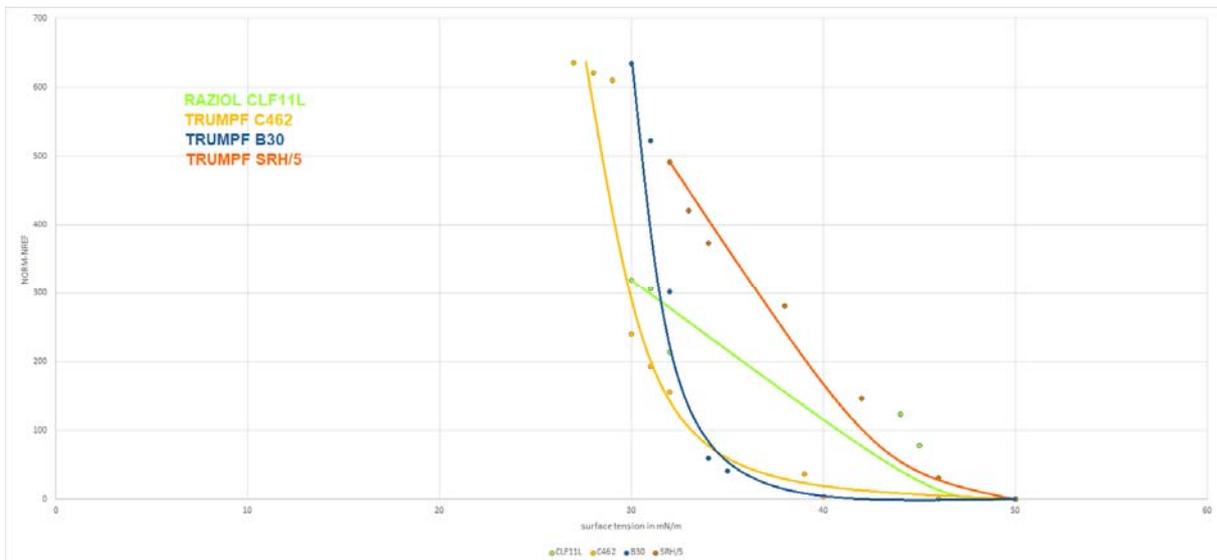
Para ello se colocó el sistema de sensores sobre un punto de medición que estaba provisto de una película de aceite de un determinado tipo de aceite y, después, se registraron los datos de medición durante un tiempo prolongado (aprox. 43 min)

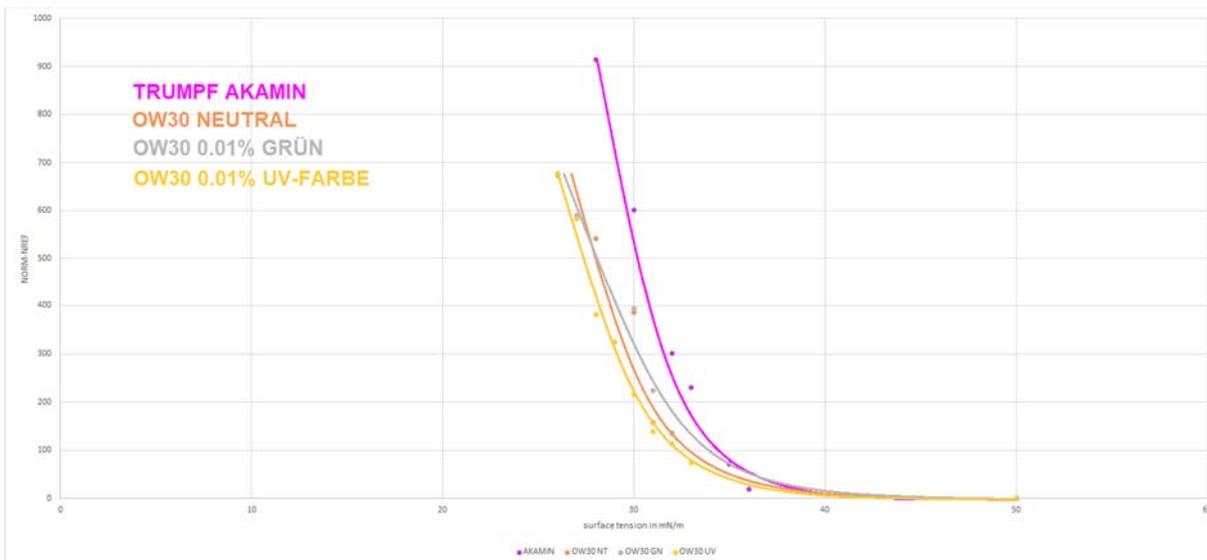
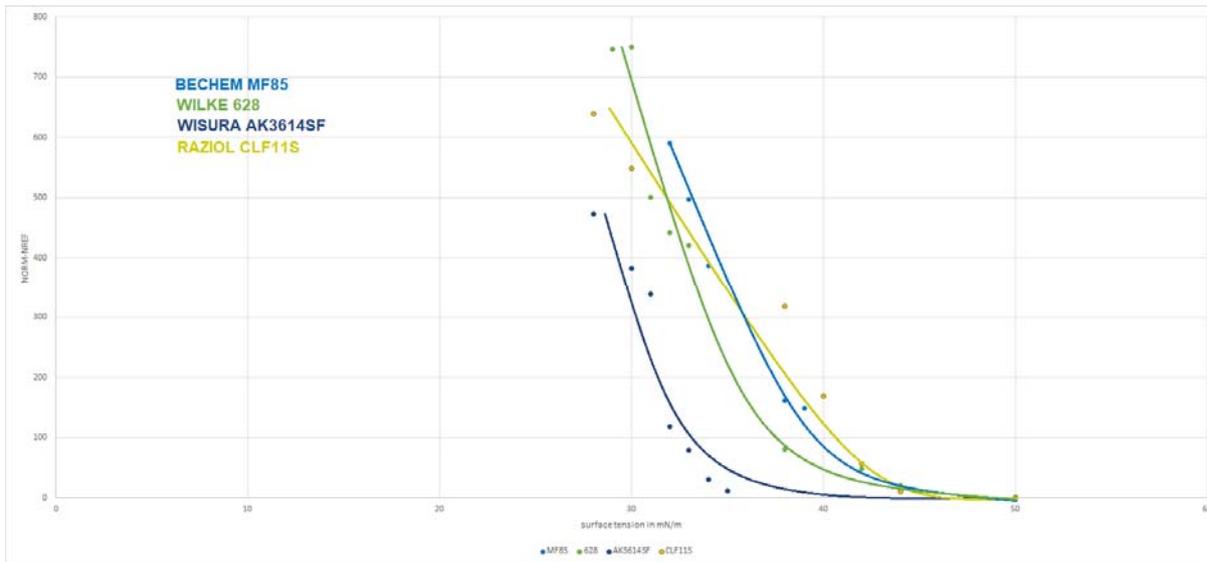


Al hacerlo, se pudo apreciar una disminución en el rango normalizado de solamente un 5 % (lo que corresponde a un factor de alrededor 1.05). En comparación con los dos métodos de medición anteriores, la caída de señal es significativamente menor, lo que se debe no solo a la evaluación normalizada, sino también al hecho de que la radiación MIR a lo largo del tiempo tiene una influencia aparentemente mucho menor en una modificación del comportamiento de absorción de los aceites

Investigación del comportamiento de absorción normalizado en el rango MIR en función de la tensión superficial del tipo de aceite correspondiente

Para ello se realizaron las mediciones en los puntos 1-9 (NORM) y, además, se formó un valor de referencia promedio a partir de las 4 posiciones de referencia (*NORMref*). La diferencia entre los dos valores (*NORM-NORMref*) sirve como medida para la tensión superficial. El valor de la tensión superficial se calculó mediante el método de las tintas de prueba.





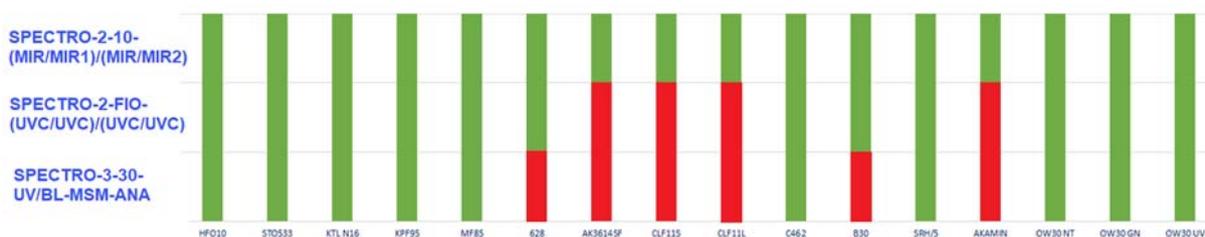
De las curvas de medición se puede ver que con este método de medición debe realizarse una calibración en el aceite empleado correspondientemente en combinación con la superficie metálica respectiva. La calibración puede ser realizada por parte del usuario mediante el software de Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0** . Además del valor NORM correspondiente, se muestra también el valor de la tensión superficial.

Resumen

En la práctica, la presencia de películas de aceite en superficies metálicas se ha probado hasta ahora muchas veces con tintas de prueba. Sin embargo, este es un método de contacto dado que la tinta de prueba debe aplicarse sobre la superficie correspondiente. Además, este método para determinar la tensión superficial también depende del enfoque visual del observador (formación de gotas sí/no y en qué momento), y el hecho de que solo

haya una gradación relativamente aproximada de las tintas de prueba con respecto a la tensión superficial (en pasos de 2mN/m) no favorece necesariamente un análisis preciso. Además, con este método se requiere un cierto tamaño de la superficie que se debe probar (ancho de la pincelada x aprox. 15 mm de largo). Los métodos de medición 1 y 2, que ya se han explicado, permiten áreas de medición muy pequeñas, pero tienen la desventaja de que no todos los aceites reaccionan al efecto físico respectivo, es decir, se comportan de manera más o menos neutra. El método de medición 3 requiere un área de prueba ligeramente más grande que debe ser plana. Sin embargo, en todos los demás criterios este método funciona mejor que el método de medición 1 y 2. Una de las principales ventajas del proceso de medición 3 es la evaluación normalizada. Aunque no puede reemplazar la calibración individual para cada tipo de aceite y superficie metálica, las variaciones en la superficie metálica se pueden compensar en gran parte, así como cualquier deriva de intensidad de la fuente de luz utilizada. Cuando se utiliza luz artificial (lámparas LED de luz blanca) para la iluminación del recinto (luz ambiente), no se puede observar ninguna influencia en el resultado de la medición.

¿Qué aceites son adecuados para el método de medición correspondiente? (verde: adecuado, rojo: inadecuado)



Comparación de otras características importantes de cada método de medición:

Método de medición	UVC	UVA	MIR
Factor de diferencia de sensibilidad de los diferentes tipos de aceite	22	61	7
Factor de degradación de señal en exposición prolongada	2	3	1:05
Sensibilidad de luz externa frente a luz artificial (luz blanca LED)	medio	fuerte	bajo
Distancia de medición en mm	5	15 (11)*	10
Rango de detección en mm	5	12 (1)*	10

* para el método de medición UVA existe también una versión de guía de luz con la que se puede llegar a rangos de detección correspondientemente pequeños.

Contacto:

Sensor Instruments
Entwicklungs- und Vertriebs GmbH
Schlinding 11
D-94169 Thurmansbang
Teléfono +49 8544 9719-0
Fax +49 8544 9719-13
info@sensorinstruments.de