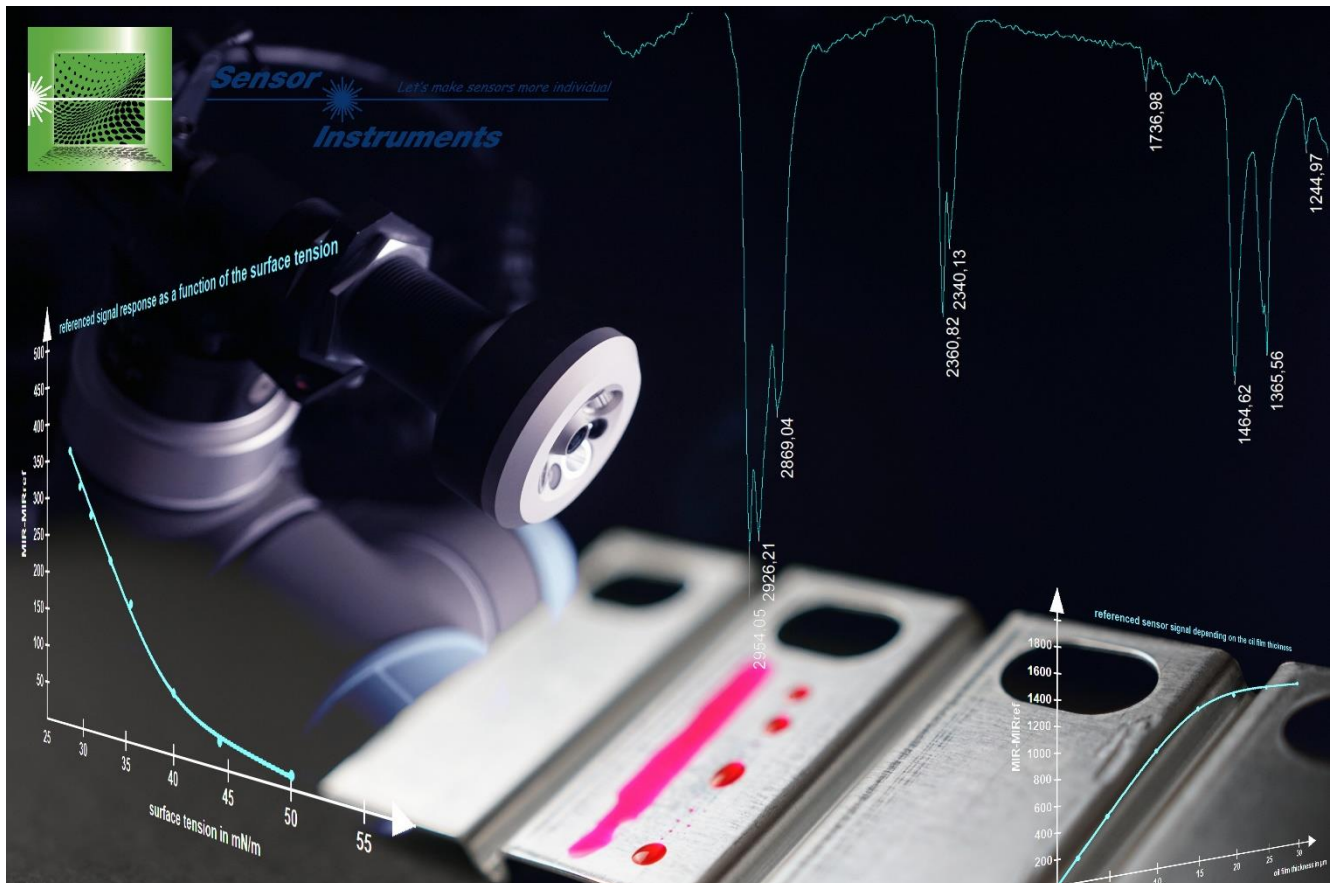


## SPECTRO-M-10-MIR

### Control en línea de capas finas de aceite sobre metal



El método de medición, MIR implementado en los sensores SPECTRO-M, ha sido desarrollado por Sensor Instruments para poder detectar capas orgánicas muy finas sobre superficies metálicas. Por eso, los sensores SPECTRO-M están diseñados para la detección y el control en línea de finas capas de aceite sobre metal.

En la práctica se trata de controlar el proceso de desengrase de las piezas o monitorizar la homogeneidad de una capa de aceite. Durante las pruebas que acompañan al desarrollo, también confirmamos que el sistema puede registrar muy bien las propiedades de evaporación y los residuos de aceite de los aceites de corte sobre superficies metálicas en condiciones de aplicación realistas (capas finas).

Para ello, también hemos realizado pruebas en aceites de troquelado especiales de la gama CLF de Raziol, cuyos resultados se resumen en el apartado 6 del documento.

El presente documento describe el principio del sensor en línea SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) de Sensor Instruments. También contamos con otros sensores SPECTRO-M en desarrollo con diferentes geometrías de medición. Además, como desarrolladores de sensores especiales, también somos capaces de adaptar la tecnología para aplicaciones especiales y necesidades de los clientes.

Contenido:

1	Introducción .....	4
2	Principio de funcionamiento del SPECTRO-M-10-MIR.....	4
3	Métodos de referencia para el cálculo de la tensión superficial .....	9
3.1	Tensión superficial y tensión interfacial .....	9
3.2	Determinación de la tensión superficial mediante medición del ángulo de contacto .....	12
3.3	Determinación de la tensión superficial mediante el método de las tintas de prueba.....	14
3.4	Método de referencia y medición en línea .....	16
4	Ámbitos de aplicación para los sensores SPECTRO-M .....	16
5	Mediciones de prueba en diferentes aceites.....	17
5.1	Motivación para la medición de capas de aceite sobre superficies metálicas .....	17
5.2	Método de las tintas de prueba: un método de medición de referencia ampliamente utilizado para el control de aceite residual .....	18
5.3	Estructura de medición y metodología.....	19
5.4	Lista de los tipos de aceite comprobados .....	21
5.5	Control de restos de aceite con SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2).....	23
5.5.1	<i>Sensor MIR y aplicación.....</i>	23
5.5.2	<i>Comparación de las sensibilidades de los diferentes aceites con el mismo espesor de capa de aceite.....</i>	24
5.5.3	<i>Dependencia de la señal de medición MIR del tiempo.....</i>	25
5.5.4	<i>Correlación de la señal MIR y la tensión superficial medida por tipo de aceite.....</i>	25
5.5.5	<i>Comparación de los valores medidos MIR en función de la tensión superficial.....</i>	30
5.5.6	<i>Comparación del método MIR con sensores UVA y UVC.....</i>	31
5.5.7	<i>Resumen del control de restos de aceite .....</i>	32
5.6	Control en línea del espesor de la capa de aceite.....	33
5.7	Medición de evaporación de aplicaciones de aceite .....	36
6	Mediciones de prueba en la gama CLF 11 .....	38
6.1	Método de prueba y método de referencia .....	38
6.2	Indicaciones del fabricante respecto a la gama CLF 11 .....	39
6.3	Raziol CLF 11 L .....	42
6.3.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	42
6.3.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	43
6.3.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	44
6.4	Raziol CLF 11.....	45
6.4.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	45
6.4.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	45
6.4.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	46
6.5	Raziol CLF 11 W 10 .....	47
6.5.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	47
6.5.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	48
6.5.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	48
6.6	Raziol CLF 11 W 25 .....	49
6.6.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	49
6.6.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	50
6.6.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	50

6.7	Raziol CLF 11 SE.....	51
6.7.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>51</i>
6.7.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	<i>52</i>
6.7.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>52</i>
6.8	Raziol CLF 11 S.....	53
6.8.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>53</i>
6.8.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	<i>54</i>
6.8.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>54</i>
6.9	Raziol CLF 11 SB.....	55
6.9.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>55</i>
6.9.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	<i>56</i>
6.9.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>56</i>
6.10	Raziol CLF 11 SD.....	57
6.10.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>57</i>
6.10.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	<i>58</i>
6.10.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>58</i>
6.11	Raziol CLF 11 SF .....	59
6.11.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>59</i>
6.11.2	<i>Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida .....</i>	<i>60</i>
6.11.3	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>60</i>
6.12	Raziol CLF 11 SG.....	61
6.12.1	<i>Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.....</i>	<i>61</i>
6.12.2	<i>Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial .....</i>	<i>62</i>

## 1 Introducción

La serie SPECTRO-M se basa en un principio de medición conocido por la espectroscopia de vibración y absorción.

Se entiende por espectroscopia de vibración, en el sentido más amplio, el análisis de materiales por radiación con luz de diferentes longitudes de onda (energía). La luz incidente se convierte (absorbe) parcialmente en vibraciones moleculares en el material y la radiación emitida se registra en forma de espectros. La información sobre la estructura molecular de las sustancias orgánicas se puede obtener a partir de los espectros de vibración. De este modo, se pueden utilizar para determinar y controlar propiedades químicas y físicas.

En la espectroscopia de infrarrojos, los grados de libertad vibratoria de las moléculas conocidas de la física cuántica son excitados por la luz infrarroja. Al mismo tiempo, se observan bandas de absorción en el espectro infrarrojo. Las bandas de las vibraciones básicas están situadas en el infrarrojo medio (MIR, ~ 2500 nm - 16000 nm), las de las vibraciones combinadas o armónicas están en el infrarrojo cercano (NIR, ~ 800 nm - 2500 nm). Las bandas de absorción NIR son en su mayoría estructuras amplias que se superponen mutuamente, mientras que la absorción MIR se muestra en áreas de bandas estrechas.

Aunque la absorción de las bandas NIR es órdenes de magnitud menores que la absorción de las vibraciones básicas, pero proporciona información suficiente para clasificar los polímeros. Los procesos de absorción NIR se utilizan hoy en día en el reciclaje de plásticos. La absorción MIR es muy adecuada para caracterizar capas orgánicas finas sobre metales.

La gama SPECTRO-M de Sensor Instruments agrupa sensores en línea que evalúan los diferentes comportamientos de absorción de materiales orgánicos en el MIR para obtener declaraciones cualitativas y cuantitativas acerca de capas orgánicas sobre metales en el proceso de producción.

Un campo interesante para comprobar capas orgánicas sobre metales es el control de la capa de aceite o la medición de la capa de aceite. En el procesamiento de metal se utilizan aceites especiales que optimizan el propio proceso de troquelado o embutición, pero que deben eliminarse sin dejar residuos después del proceso de mecanizado

La prueba en línea de la lubricación de piezas metálicas, o la eliminación de esta lubricación, es un desafío metrológico que se ha vuelto cada vez más complejo debido a capas cada vez más finas y formulaciones y funciones de aceite más específicas.

Las superficies a menudo se evalúan comprobando la tensión superficial o interfacial. Dos procesos comunes para la medición de la tensión superficial son el método de las tintas de prueba y la medición del ángulo de contacto, que el documento trata brevemente.

Finalmente, también incluimos un resumen de nuestras investigaciones sobre aceites de troquelado y trefilado con el SPECTRO-M-10-MIR y comparamos los resultados con el método de las tintas de prueba rojas. Se trata de la detección de los mínimos residuos de aceite o de la detección metrológica de diferentes grosores de capa. Además, hay aceites que se evaporan en una ventana de tiempo definida, pero que dejan más o menos residuos en la superficie. La medición reproducible de la propiedad de evaporación debería ser de interés para los fabricantes de tales productos derivados del aceite.

## 2 Principio de funcionamiento del SPECTRO-M-10-MIR

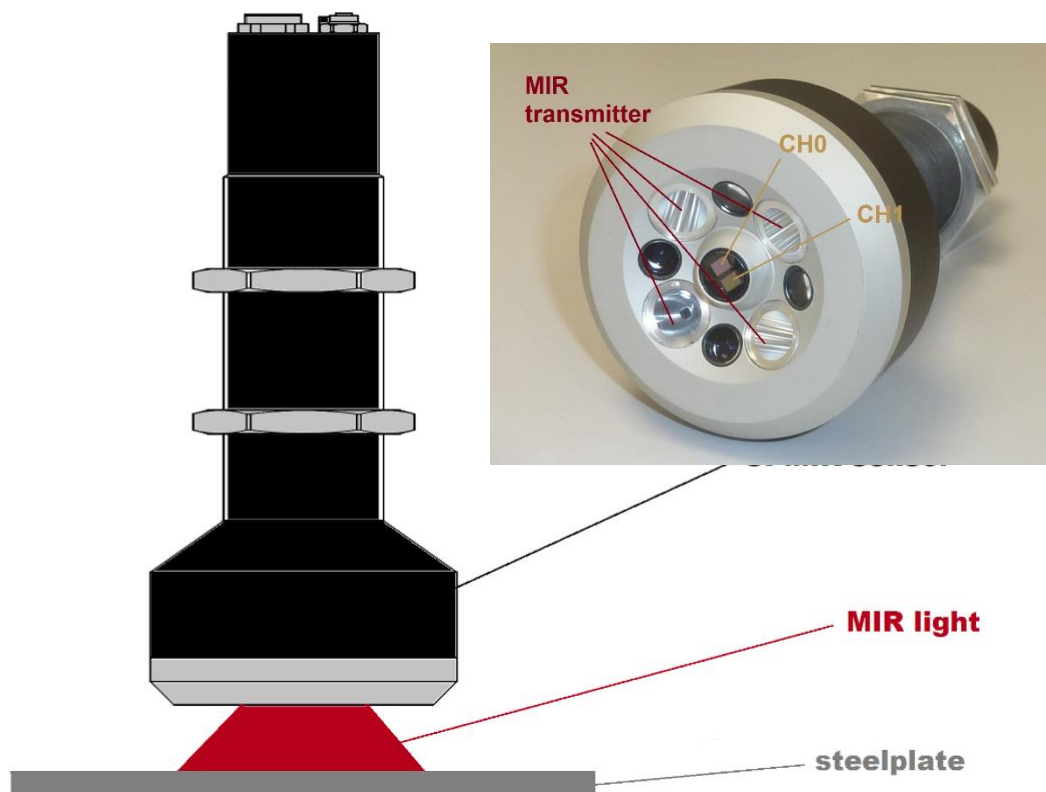
Lo más importante de los sistemas de medición en línea es su capacidad para realizar mediciones sin contacto. Por supuesto, el tiempo necesario para calcular el valor también debe ser compatible con el tiempo de alimentación del componente. Además, el sistema de medición debe ser robusto y compacto y disponer de varias interfaces para que los datos medidos se puedan introducir en tiempo real, en la medida de lo posible, en el sistema de control superior o en un CLP.

El **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** es un sensor equipado con una iluminación de banda relativamente ancha para el rango MIR. En el lado del receptor hay dos ventanas de medición (rangos de longitud de onda) que se

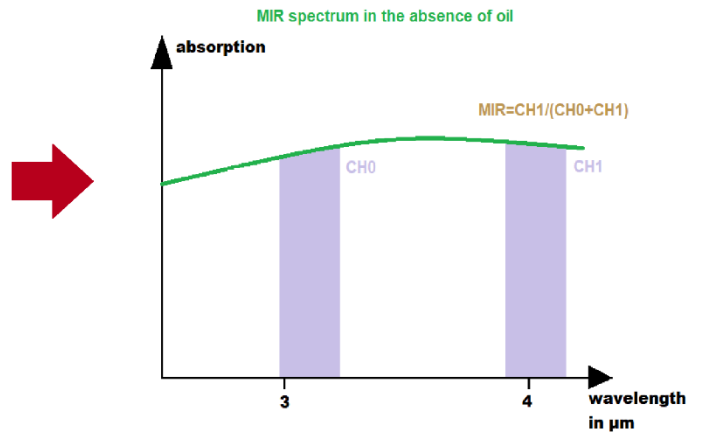
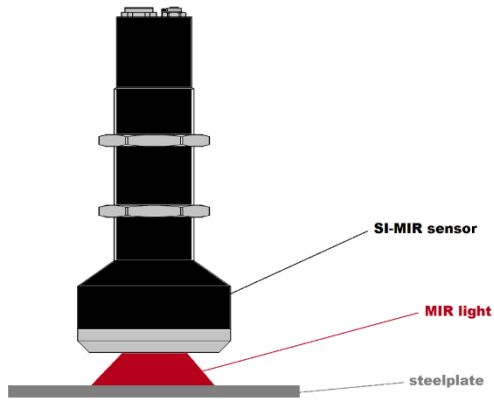
comparan entre sí de forma normalizada. Una de estas ventanas sirve como referencia y es en una primera aproximación neutra a los aceites, mientras que en la segunda ventana se puede determinar una absorción provocada por el aceite. Mediante el software de Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0** suministrado se pueden realizar mediciones de prueba y guardar los valores medidos además de la parametrización del sensor. El software de monitorización está disponible para la operación en línea, y permite mostrar los valores medidos actuales en una pantalla o registrar los datos de medición en archivos ASCII.

Además del desarrollo del SPECTRO-M-MIR, con nuestros sensores ópticos se han probado varios aceites de troquelado y trefilado convencionales. También analizamos y comparamos los efectos de medición en el rango UVC (255 nm, SPECTRO-1-UVC), y la fluorescencia UVA (SPECTRO-3-UV) y la absorción en el rango MIR (5  $\mu\text{m}$ ).

Todos los tipos de aceites de troquelado y trefilado probados hasta ahora pueden medirse utilizando el método MIR. Para el SPECTRO-M-10-MIR, el rango espectral de trabajo óptimo resultó ser una ventana de medición de entre 3  $\mu\text{m}$  y 4  $\mu\text{m}$ . El método de comparación de dos rangos espectrales proporciona resultados de medición MIR normalizados en los que las propiedades reflectantes de la superficie de contacto ya pueden compensarse en gran medida. Dado que los diferentes aceites tienen grados de absorción MIR diferentes, se requiere una calibración con respecto a la superficie metálica libre de aceite (MIR<sub>reff</sub>). Si se desea convertir los valores medidos en las unidades de un sistema de referencia, por ejemplo, si los valores de tensión superficial se deben emitir como valores medidos en mN/m, incluido el método de las tintas de prueba, se debe crear una calibración de referencia correspondiente (CONVERSION) una vez. En los gráficos siguientes se puede ver el funcionamiento básico de los sensores MIR:

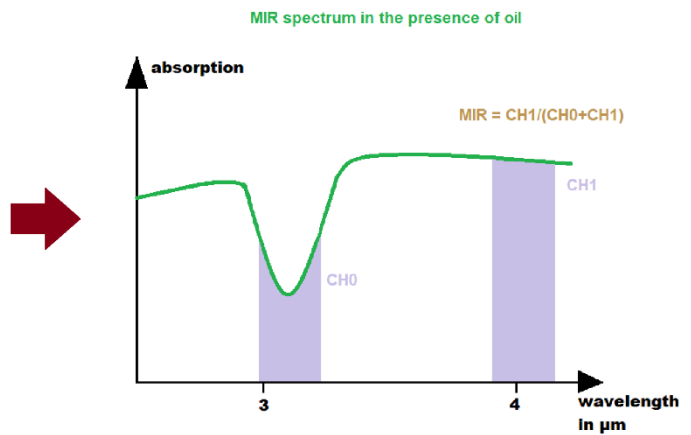
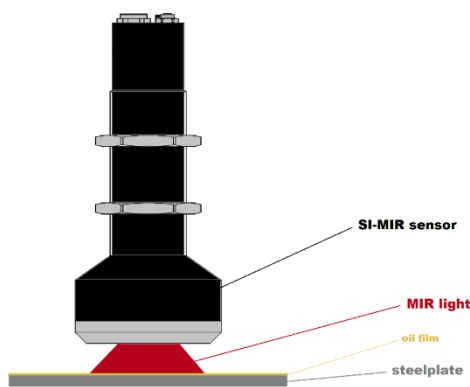


Los emisores MIR de banda ancha cubren el rango espectral requerido para las dos ventanas de medición, CH0 y CH1. Una parte de la luz reflejada por la superficie metálica incide en las ventanas de medición; al hacerlo, una de ellas (CH0) reacciona ante la presencia de una capa de aceite, mientras que la otra (CH1) permanece prácticamente inalterable ante la presencia de una capa de aceite (ventana de referencia). A través de una evaluación normalizada, obtenemos un valor independiente de la intensidad:

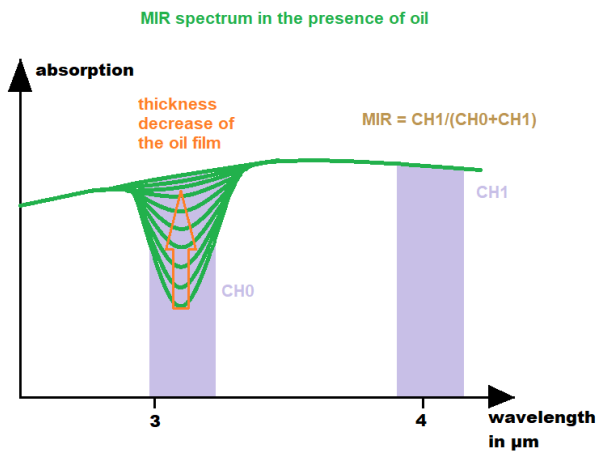


**MIR = CH1/(CH0+CH1)**

En el gráfico superior, no hay ninguna capa de aceite en la superficie metálica. Las dos ventanas de medición proporcionan aproximadamente el mismo nivel de señal (valor normalizado = MIRref). En el gráfico siguiente, sin embargo, el nivel de señal de la ventana de medición CH0 cae considerablemente, lo que conduce a un cambio en el valor MIR normalizado.



Cuanto más espesa sea la capa de aceite, más pronunciada será la caída de la señal en la ventana de medición CH0:

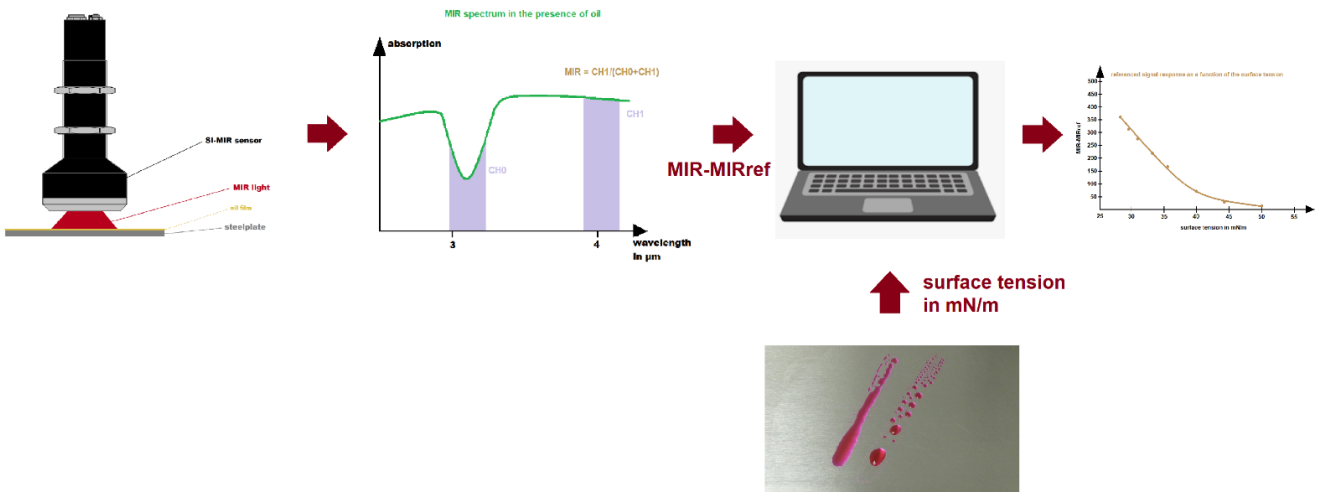


Se puede calcular un valor normalizado,  $MIR = CH1 / (CH0 + CH1)$ , a partir de las dos señales, que muestra ambos canales. Este valor normalizado es inicialmente un valor propio que se determina por los parámetros del sensor, el aceite y la superficie metálica. Sin embargo, mediante el software del sensor es posible correlacionar el valor

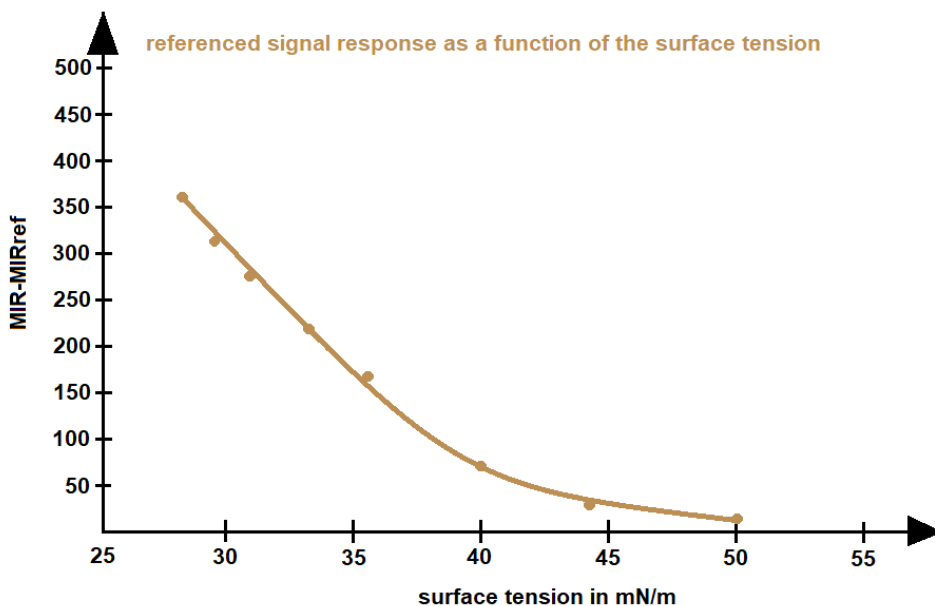
normalizado con un método de medición de referencia y emitirlo como un "valor de medición calibrado" en formato de referencia.

**Ejemplo: Método de tintas de prueba rojas (mN/m) como ejemplo para una calibración del sistema de referencia:**

Para que ahora no se transmita a la interfaz del sensor el valor normalizado (MIR), sino el valor de tensión superficial de la superficie metálica con capa de aceite, primero hay que establecer la referencia para el método de las tintas de prueba (calibración):



Para ello, primero se desengrasa una de las piezas metálicas que haya que comprobar; a continuación, se calcula el valor de referencia normalizado (MIRref) mediante el sensor MIR y, con el método de las tintas de prueba, se calcula el valor de tensión superficial correspondiente en mN/m. A continuación, una pieza metálica desengrasada se somete al mismo procedimiento, con la diferencia de que en cada proceso (valor medido con presencia de aceite: MIR) se aplica uniformemente una capa de aceite cada vez más cargada sobre el componente desengrasado (la experiencia demuestra que el espesor de la capa de aceite oscila entre 100 nm y 5 µm). Los valores medidos (MIR-MIRref) se recogen a continuación en una tabla, que se utiliza en la memoria no volátil el sensor como tabla de conversión. De este modo, obtenemos el siguiente gráfico:



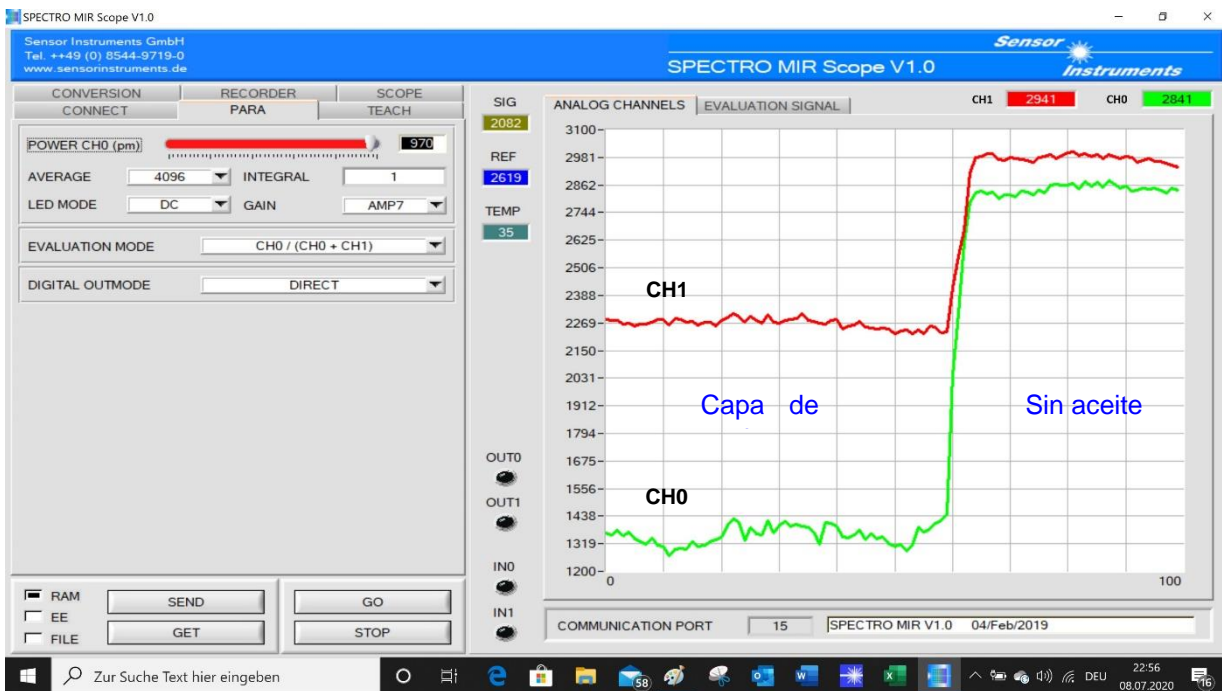
Para la medición fuera de línea en la producción o en el laboratorio hay disponible un distanciador acoplable. La medición se realiza de forma continua. La distancia de trabajo de los sensores a la superficie que se debe medir es de 10 mm.



SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) - Cabezal del sensor



Accesorio fuera de línea para mediciones en laboratorio



Software SPECTRO MIR Scope de Windows® para la configuración del sensor, las mediciones de prueba y la calibración del sensor con un método de medición de referencia.



### 3 Métodos de referencia para el cálculo de la tensión superficial

#### 3.1 Tensión superficial y tensión interfacial

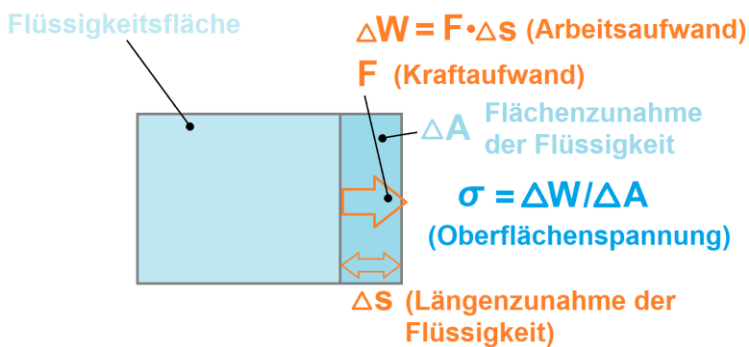
¿Por qué es tan importante en la práctica conocer la tensión superficial de las superficies metálicas? Para ello, aquí un ejemplo: antes de aplicar pintura sobre una pieza metálica, es necesario conocer la tensión superficial de la pieza. Si esta es inferior al valor de tensión superficial de la pintura, la pintura se contraerá en gotas sobre la superficie metálica.

Algo similar ocurre al aplicar adhesivos u otros tipos de revestimientos. Solo se consigue una adhesión suficiente si la tensión superficial de la superficie metálica es mayor que la del adhesivo o la del material de revestimiento.

#### ¿Cómo se define la tensión superficial?

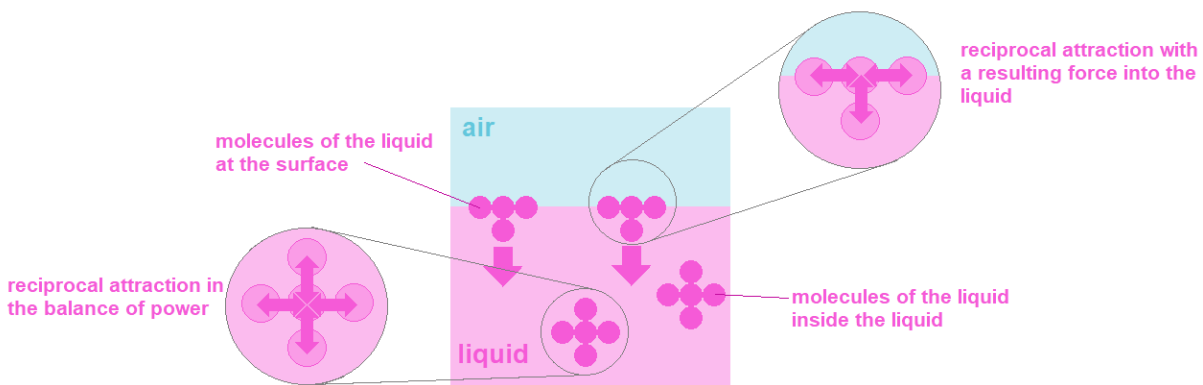
Para aumentar la superficie de un líquido, se necesita cierto esfuerzo. Esto significa que es necesario realizar un trabajo determinado. La tensión superficial es la relación entre el trabajo que hay que realizar y la superficie que se gana con el trabajo realizado (aumento de superficie del líquido):

$$\sigma = \Delta W / \Delta A \text{ (SI – Unidad: N/m)}$$



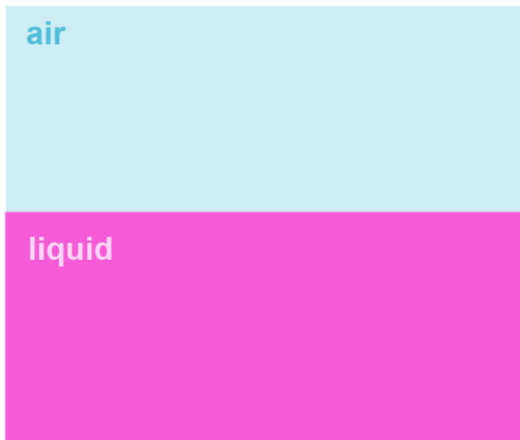
Como resultado de la tensión superficial, los líquidos tienden a minimizar su superficie, lo que conduce en última instancia a una superficie esférica del líquido en cuestión (una esfera posee la superficie más pequeña de todas las formas corporales del mismo volumen).

#### ¿Qué es la tensión interfacial?

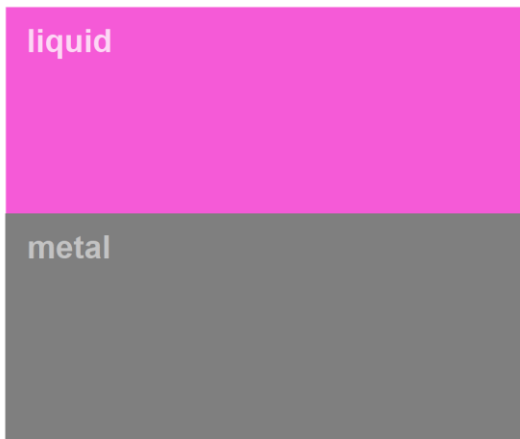


Todas las moléculas que hay dentro de un líquido están rodeadas de moléculas vecinas, por lo que las fuerzas de atracción mutuas están equilibradas. Por otro lado, la falta de distribución simétrica de las fuerzas de atracción mutuas genera una fuerza en el borde del líquido (interfase) que apunta hacia el interior del líquido.

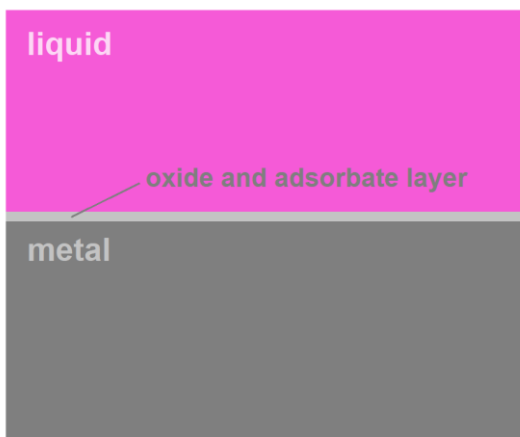
Por este motivo, la tensión superficial también recibe el nombre de tensión interfacial. El término de tensión interfacial se utiliza para designar el traspaso de un líquido a un sustrato, por ejemplo, a una superficie metálica, mientras que si el líquido se traspasa al aire, hablaremos de tensión superficial.



Traspaso aire/líquido: se utiliza el término de tensión superficial.



Traspaso líquido/metal: los procesos implicados en este caso se denominan tensión interfacial.



No obstante, en este tipo de traspaso (líquido/metal) cabe señalar que, estrictamente hablando, se trata del traspaso de una capa de óxido de metal o de una capa de adsorbato (dióxido de carbono e hidrocarburos de la superficie metálica) a un líquido.

**¿Qué es la humectación de superficies metálicas?**

Un elemento para medir la humectación de una superficie metálica a través de un líquido aplicado (por ejemplo, en forma de gota o con una pincelada) es el llamado ángulo de contacto  $\Theta$ . La humectación de la superficie metálica aumenta al disminuir el ángulo de contacto  $\Theta$ .

El proceso de humectación se describe mediante la ecuación de Young:

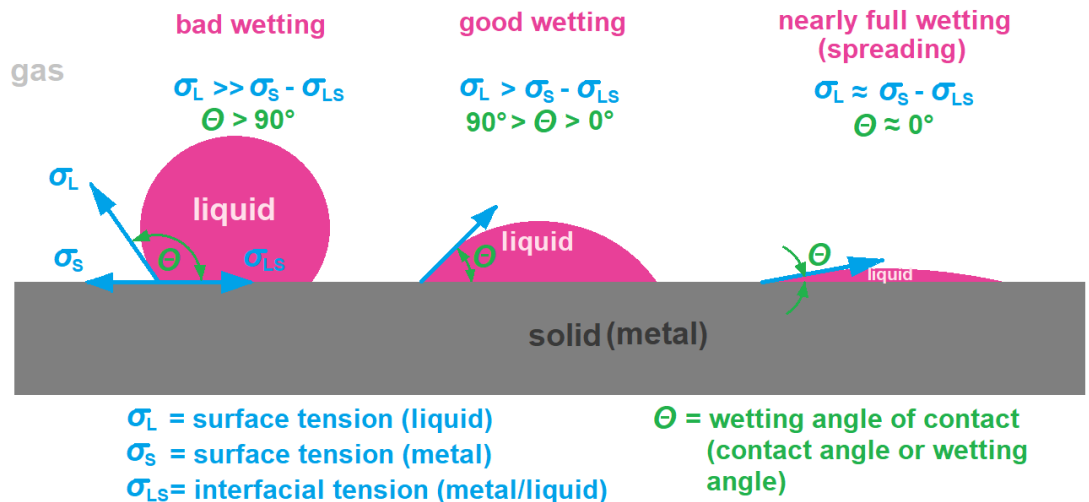
$$\cos \Theta = (\sigma_s - \sigma_{LS})/\sigma_L$$

con

$\sigma_L$  = tensión superficial del líquido

$\sigma_s$  = tensión superficial del metal

$\sigma_{LS}$  = tensión interfacial entre el metal y el líquido



$\Theta$  = ángulo de contacto (o ángulo de humectación) del líquido sobre el metal

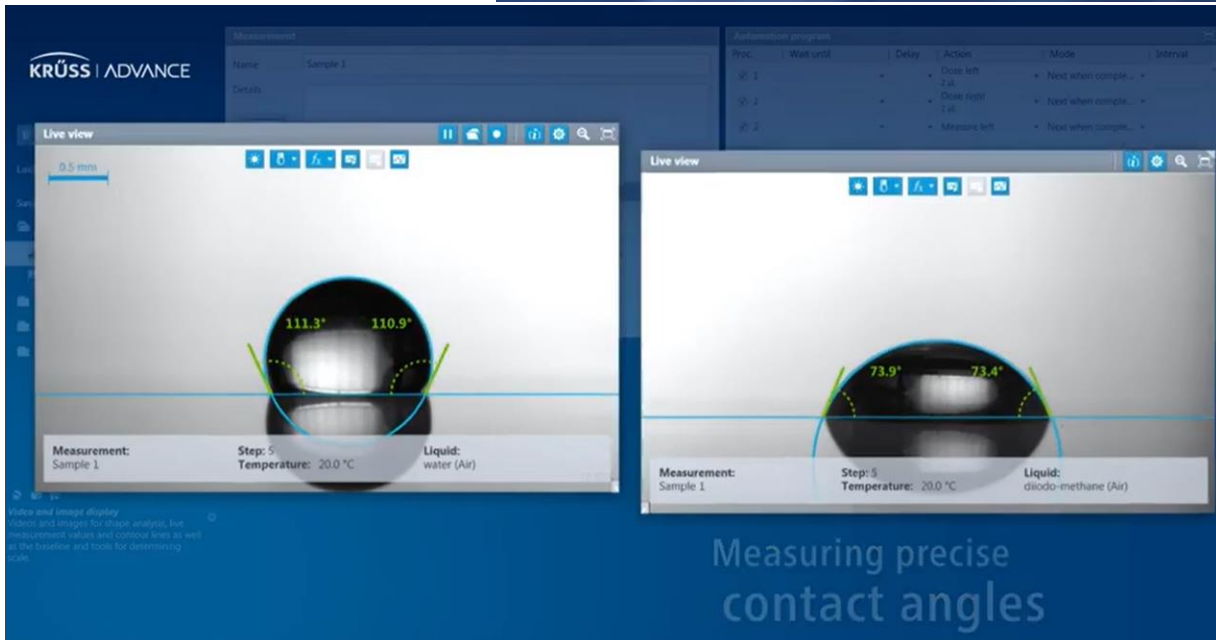
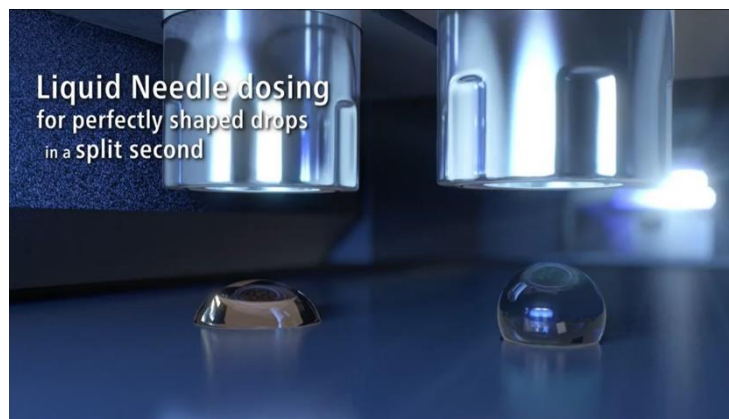
La distribución independiente del líquido sobre la superficie metálica (el esparcimiento de la pincelada o de la gota, también llamado dispersión) se alcanza con un ángulo de contacto de  $\Theta = 0^\circ$  (equivalente a  $\cos \Theta = 1$ ). En este caso, para la ecuación de Young obtenemos lo siguiente:  $\sigma_L = \sigma_s - \sigma_{LS}$ . Además, si  $\sigma_{LS} \ll \sigma_s$ , para el líquido que vaya a humectar la superficie metálica se aplica lo siguiente:  $\sigma_L < \sigma_s$ . De este modo, si la tensión superficial del líquido es menor que la del metal, el líquido humectará el metal; por el contrario, si la tensión superficial del líquido es mayor que la del metal, no se producirá la humectación.

### 3.2 Determinación de la tensión superficial mediante medición del ángulo de contacto

Los valores de tensión superficial mencionados en la literatura especializada se refieren principalmente a metales en estado líquido que se encuentran cerca de su temperatura de fusión. Sin embargo, para calcular la humectación, es importante la tensión superficial de las superficies metálicas recubiertas con capas de óxido y adsorbato a temperatura ambiente.

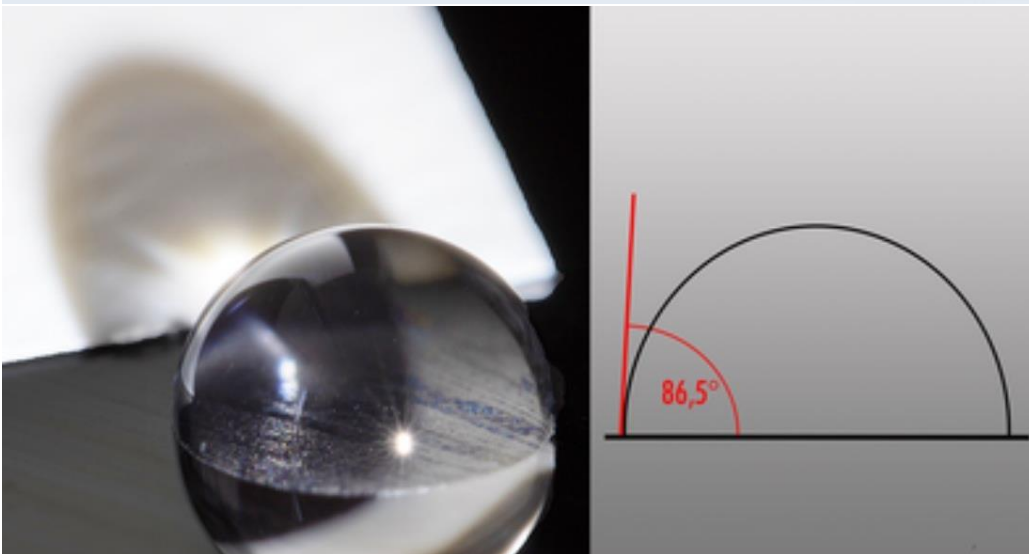
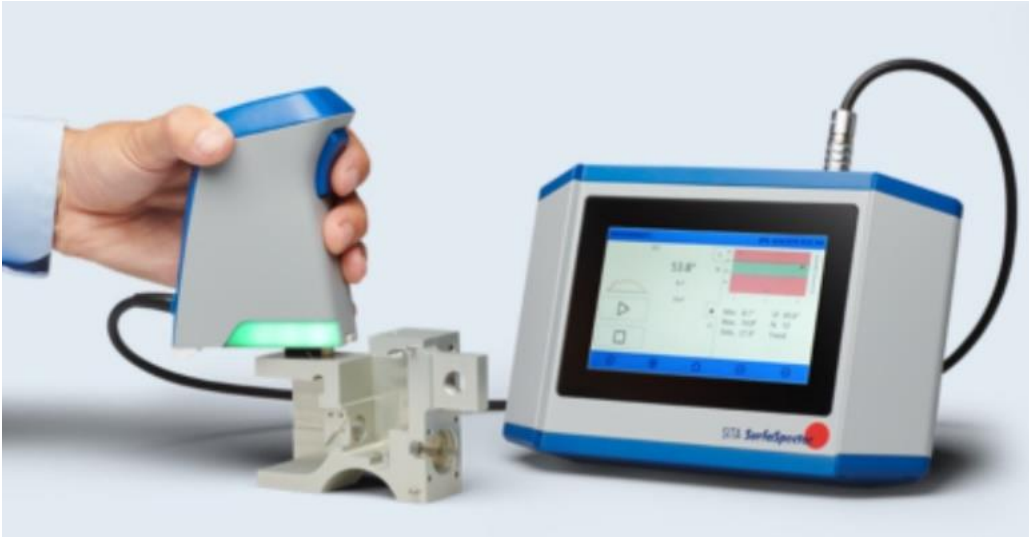
Un método de medición para la determinación local de la tensión superficial de superficies metálicas es la medición del ángulo de contacto. En este método, se aplica una gota de un líquido con una tensión superficial definida sobre la superficie metálica y se evalúan ópticamente los ángulos de contacto de las gotas.

Para esas tareas de medición hay disponibles diferentes dispositivos de medición. El valor de temperatura superficial (energía libre superficial) puede calcularse, por ejemplo, con el Mobile Surface Analyzer-MSA de la empresa KRÜSS GmbH [www.kruss-scientific.com](http://www.kruss-scientific.com); para ello, se aplica una gota de dos líquidos de prueba diferentes (con distinta tensión superficial) sobre el metal que se desea analizar y, una vez determinado el ángulo de contacto, se puede calcular la tensión superficial del metal.



Copyright: Krüss GmbH

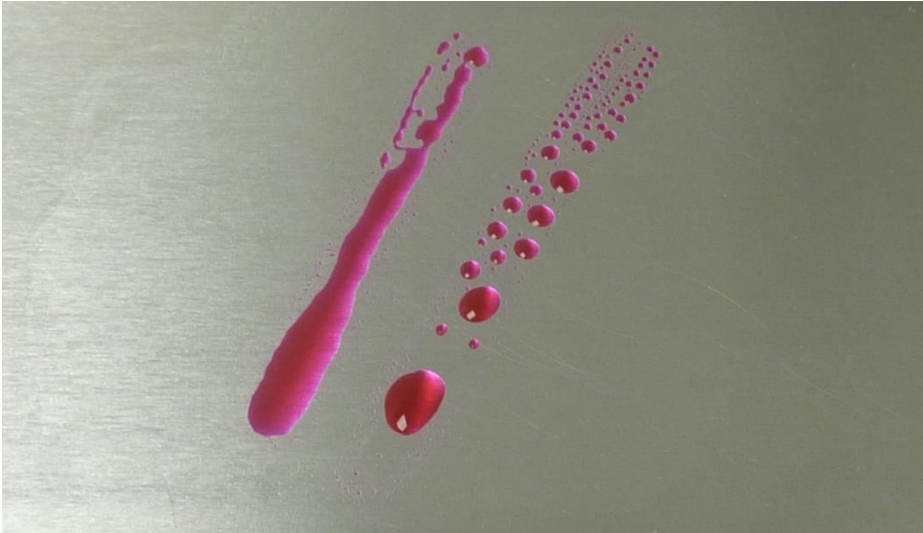
Entre otros proveedores, también cabe señalar la empresa SITA Messtechnik GmbH [www.sita-process.com](http://www.sita-process.com). SITA ofrece un sistema de medición para la “evaluación rápida de la humectabilidad de la superficie en el proceso de fabricación midiendo el ángulo de contacto”. SITA SurfaSpector es un equipo de medición manual que sirve para comprobar la humectabilidad de, por ejemplo, superficies metálicas antes y después del tratamiento superficial o de la limpieza. En este método, se aplica una gota (1 µl) de agua desmineralizada sobre la superficie en cuestión mediante un dosificador integrado en el cabezal del sensor. Una cámara de alta resolución capta el contorno de la gota en la parte frontal del sensor, a partir de la cual se puede calcular el ángulo de contacto.



Fuente: SITA Messtechnik GmbH

### 3.3 Determinación de la tensión superficial mediante el método de las tintas de prueba

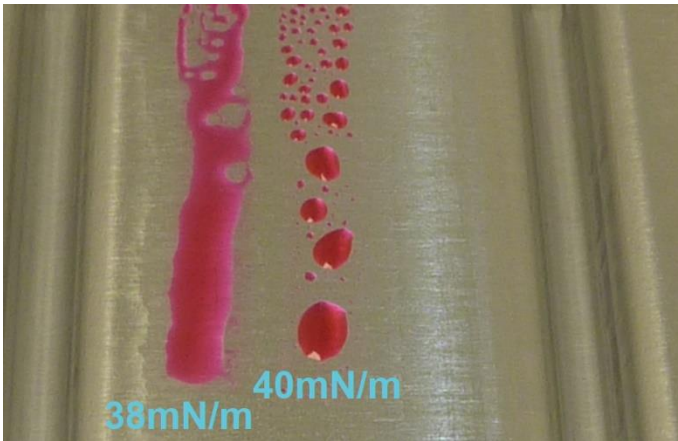
Un método ampliamente utilizado para calcular la tensión superficial de metales a temperatura ambiente es el llamado método de las tintas de prueba. En este caso, se aplica una tinta de prueba con una tensión superficial determinada sobre la superficie metálica que se desea analizar, por ejemplo, utilizando un pincel. Si la tinta de prueba humecta la superficie metálica, significa que la tensión superficial de la superficie metálica (tensión interfacial) corresponde al valor de la tinta de prueba o es incluso superior a este. Por el contrario, si la tinta de prueba se contrae en forma de gotas tras aplicarse sobre la superficie metálica, significa que la tensión superficial de la superficie metálica (tensión interfacial) es inferior a la tensión superficial de la tinta de prueba.



Las tintas de prueba se pueden encontrar, por ejemplo, a través de la empresa arcotest GmbH [www.arcotest.info](http://www.arcotest.info). Sus tintas de prueba PINK cubren un rango de tensión superficial de 22 mN/m a 60 mN/m en tramos de 2 mN/m.



Como ya hemos mencionado, una tensión superficial definida del sustrato es un factor muy importante en los procesos de recubrimiento. ¿Pero cuál es la causa de un valor de tensión superficial demasiado bajo en una superficie metálica?



Como ya hemos mencionado, las superficies metálicas suelen ser en la práctica capas de óxido de metal y de adsorbato. En ellas, los átomos de oxígeno y de carbono se incorporan a la superficie metálica. Según las mediciones realizadas, una superficie metálica (más concretamente, una superficie de óxido de metal y de adsorbato) que se haya desengrasado químicamente tiene un valor de tensión superficial  $> 60 \text{ mN/m}$ . Sin embargo, en el caso de las piezas troqueladas, por ejemplo, que se humedecen inicialmente con aceite debido al proceso de flexión y troquelado y luego se limpian con un sistema de limpieza convencional, las piezas tienen un valor de tensión superficial de alrededor de

38 mN/m y, en determinados casos, de 44 mN/m. - Antes del proceso de limpieza, el valor de la tensión superficial de la superficie metálica de las piezas troqueladas suele situarse por debajo de los 30 mN/m en función del aceite de troquelado y trefilado utilizado. –

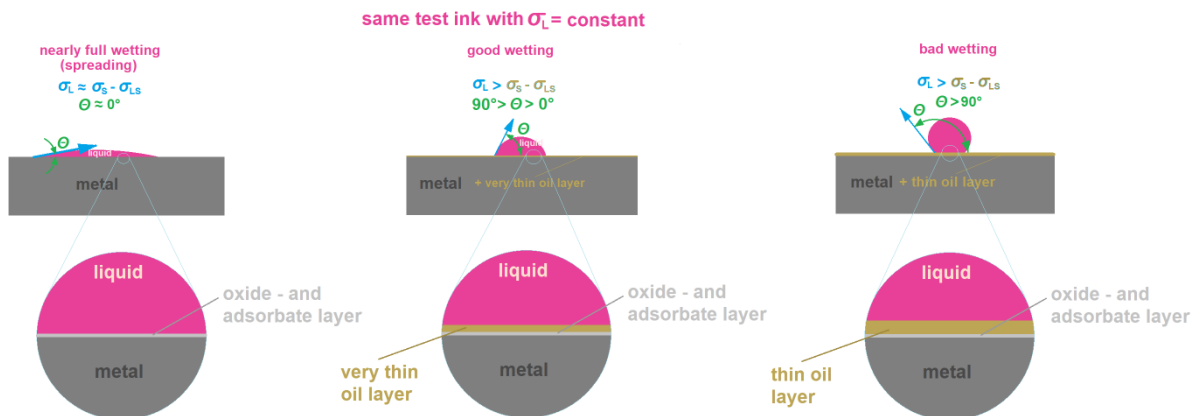
No obstante, en el caso de las piezas troqueladas, especialmente, los contactos enchufables, es importante que el valor de tensión superficial sea alto ( $> 38 \text{ mN/m}$ ), ya que este valor indica el contenido de aceite residual de la superficie metálica. El contenido de aceite residual aumenta la resistencia de contacto, lo que puede provocar una reducción del rendimiento en el paso del contacto enchufable.

Utilizando dos tintas de prueba (38 mN/m y 40 mN/m) se pudo demostrar que el valor de tensión superficial de esta superficie de contacto se sitúa entre los 38 mN/m y los 40 mN/m.

Con la tinta de prueba de 40 mN/m, ya no se da una humectación limpia; en consecuencia, el ángulo de contacto  $\Theta$  se desvía fuertemente de  $0^\circ$ , mientras que con 38 mN/m se logró casi una dispersión completa.

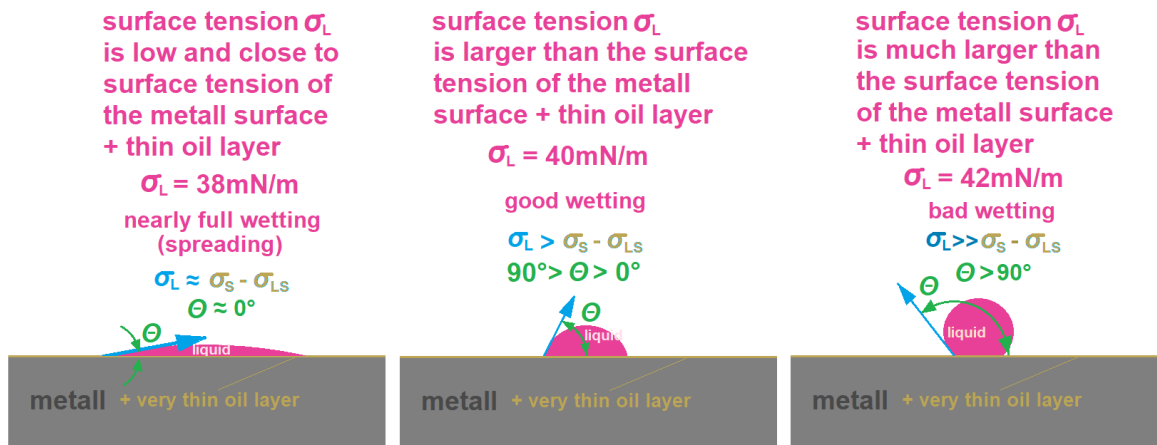
En el siguiente diagrama se muestra esquemáticamente cómo la tensión superficial de la superficie de contacto disminuye con el aumento del espesor de la capa de aceite (lo que se verifica con la misma tinta de prueba):

La humectación de la superficie de contacto disminuye al aumentar el espesor de la capa de aceite.



Para calcular la tensión superficial de una superficie de contacto, se utilizan tintas de prueba de distinta tensión superficial de forma consecutiva. Si la tensión superficial de la pieza de contacto tiene un mínimo de 38 mN/m, se podría comenzar, por ejemplo, con una tinta de prueba que tenga el mismo valor de tensión superficial: una tinta de prueba de 38 mN/m humecta la superficie de contacto, una tinta de prueba de 40 mN/m ya no la humecta completamente y una tinta de 42 mN/m se contrae en forma de gotas.

**same metall surface with same thin oil layer**  
 (constant surface tension of the metal surface and the thin oil layer)



El método de las tintas de prueba es un procedimiento de control fácil y rápido de aplicar que se puede utilizar para controlar componentes por muestreo. Sería deseable obtener información sobre el espesor de la capa de aceite residual de forma directa, pero esto no era tarea fácil en el pasado.

Entretanto, el método de las tintas de prueba se ha afianzado en el ámbito industrial para comprobar la presencia de capas finas de aceite.

Esta es también la razón por la que también utilizamos el método de las tintas de prueba como método de referencia en las siguientes mediciones de prueba.

### 3.4 Método de referencia y medición en línea

Los métodos de referencia presentados para determinar la tensión superficial son métodos de ensayo en los que se toman muestras aleatorias individuales del proceso de producción y estos proporcionan una declaración de calidad en nombre de todo el lote. Estos métodos de prueba se utilizan a menudo en el contexto del control de calidad de laboratorio o en línea.

No obstante, cada vez se busca más el control del 100 % de los componentes producidos, lo que hace necesario un método de medición en línea.

Idealmente, un método en línea generaría los valores medidos que corresponden a los de un método de referencia ya establecido, p. ej., el método de las tintas de prueba. Por ejemplo, el sistema de medición en línea debería reflejar los valores para la tensión superficial del componente en mN/m.

Los sensores en línea de los sensores SPECTRO-M ofrecen una función de calibración (CONVERSION) con la que los valores MIR internos se pueden convertir fácilmente a los valores del sistema fuera de línea (método de las tintas de prueba).

## 4 Ámbitos de aplicación para los sensores SPECTRO-M

En principio, todos los compuestos orgánicos, p. ej., polímeros, aceites, etc., muestran una absorción de vibraciones en el rango MIR. Sin embargo, cualquier método MIR llega a sus límites cuando la capa orgánica es tan gruesa que se absorbe toda la energía de excitación y apenas se refleja ninguna señal útil.

No obstante, el sistema funciona muy bien cuando se aplican capas orgánicas finas sobre sustratos no orgánicos, es decir, sustratos que no tienen absorción MIR. La detección de capas finas de aceite sobre metales (en el procesamiento de metal, especialmente en el campo de troquelado) está por lo tanto predestinada para el uso del método de medición MIR.



Los sensores de la gama SPECTRO-M son especialmente adecuados para las siguientes aplicaciones:

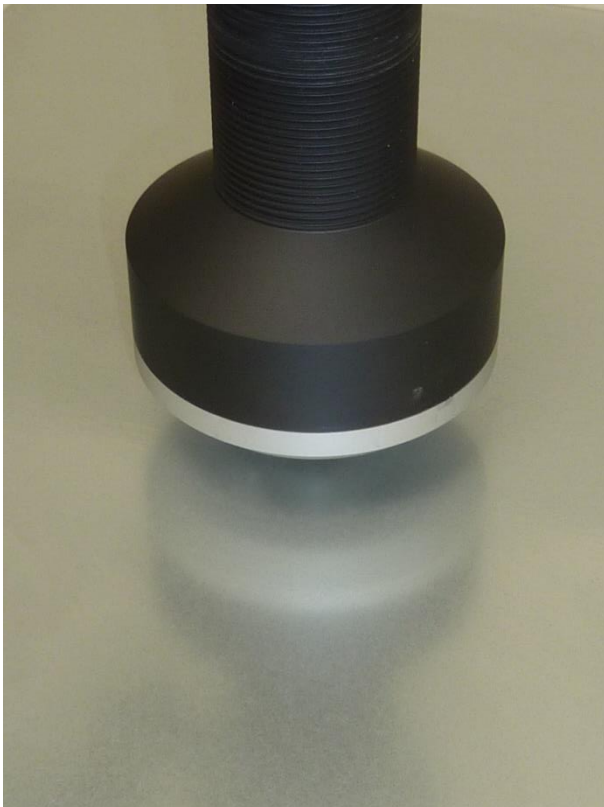
- Control en línea de la tensión superficial de superficies metálicas después de la limpieza
- Control en línea del espesor de capa de aplicaciones finas de aceite sobre superficies metálicas
- Análisis de laboratorio para la evaporación de aceites sobre metales y determinación de la cantidad restante

En los siguientes apartados se describen nuestras mediciones de prueba en varios productos de aceite y la metodología utilizada.

## 5 Mediciones de prueba en diferentes aceites

### 5.1 Motivación para la medición de capas de aceite sobre superficies metálicas

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 en 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, durante el proceso en marcha. Para ello, se utilizan a menudo los métodos de medición de fluorescencia UVA. Sin embargo, no todos los aceites tienen las propiedades de fluorescencia necesarias y los aditivos UV adicionales generan costes más altos.

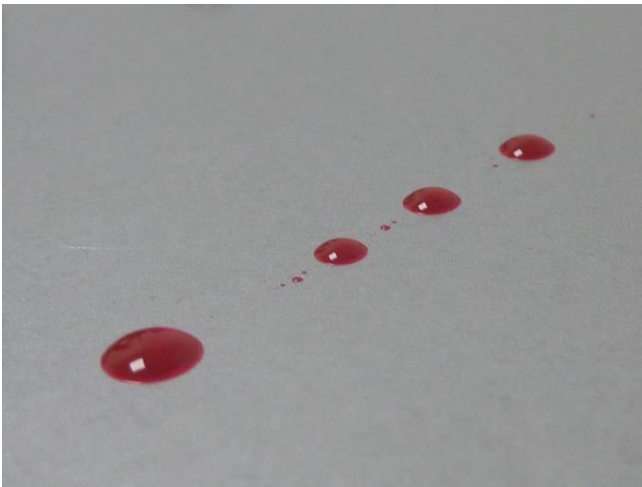
El control de calidad del proceso de limpieza también podría realizarse mediante sensores. Sin embargo, el desafío aquí es registrar en línea de forma segura la menor cantidad posible de residuos de aceite. Los residuos de aceite reducen la tensión superficial e interrumpen el proceso de recubrimiento posterior.

En 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 la eficiencia del rendimiento.

## 5.2 Método de las tintas de prueba: un método de medición de referencia ampliamente utilizado para el control de aceite residual

En la medición de capas de aceite, todos pensamos inmediatamente en un determinado espesor de capa, medido, p. ej., en  $\mu\text{m}$ . Una posibilidad sería determinar el peso básico de la película de aceite. Sin embargo, para determinarlo se debe determinar el peso de todo el componente. Para hacerlo correctamente se requieren una báscula precisa y un componente exactamente idéntico no engrasado. 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 diferencia de peso relativamente grande 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 dos componentes, cada uno en un estado no engrasado.

La falta de posibilidades eficaces y económicas para medir el espesor de la capa de aceite residual es probablemente la razón por la cual un método de ensayo simple para determinar la tensión superficial de las piezas metálicas goza de una popularidad creciente en la práctica. La presencia de una fina capa de aceite sobre una superficie metálica reduce la tensión superficial de  $> 50 \text{ mN/m}$ , en estado no humedecido, a menos de  $40 \text{ mN/m}$  con una capa de aceite (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  $30 \text{ mN/m}$  a  $50 \text{ mN/m}$  en pasos de dos ( $30 \text{ mN/m}$ ,  $32 \text{ mN/m}$ ,  $34 \text{ mN/m}$ , 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 superior 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. El principio es 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.

### 5.3 Estructura de medición y metodología

Para las mediciones en laboratorio, el SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) se ha equipado con un distanciador o un accesorio fuera de línea. (Véase a la derecha)

Mediante el software de ordenador SPECTRO MIR Scope v1.0 se configuró el sensor para las pruebas y la función RECORDER habilitó el registro y la exportación de los valores medidos en Excel®, que se utilizó para la elaboración de los datos.

Como objeto de medición se utilizó una placa de acero inoxidable desengrasada sobre cuya superficie se aplicaron capas de aceite de diferentes espesores (las capas de aceite se sitúan aquí entre  $<1 \mu\text{m}$  y  $20 \mu\text{m}$  aproximadamente) del mismo aceite en cada caso. 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 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.





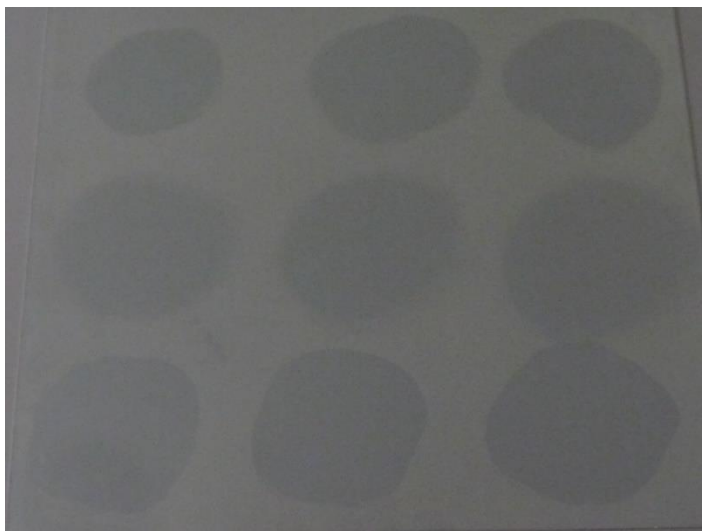
Notas sobre las chapas de prueba:

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)

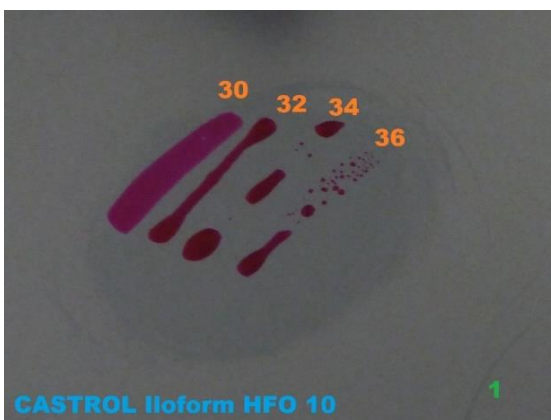
7, 8 y 9: espesores de capa grandes (disminuyendo de 7 a 9)

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.

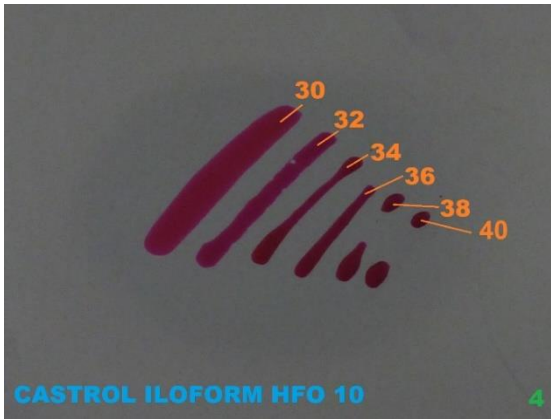
Como ya se mencionó al principio, la prueba de tensión superficial utilizando el método de las tintas de prueba en los sectores correspondientes sirve como referencia para las mediciones respectivas. Esta tensión superficial se determinó mediante las tintas de prueba disponibles (desde 30 mN/m a 50 mN/m) para cada tipo de aceite. Esto ocurrió después de la medición con tres sistemas de sensores SI diferentes, dado que la tinta de prueba aplicada influiría en los resultados de la medición óptica.



Muestra de aceite: CASTROL Iloform HFO 10

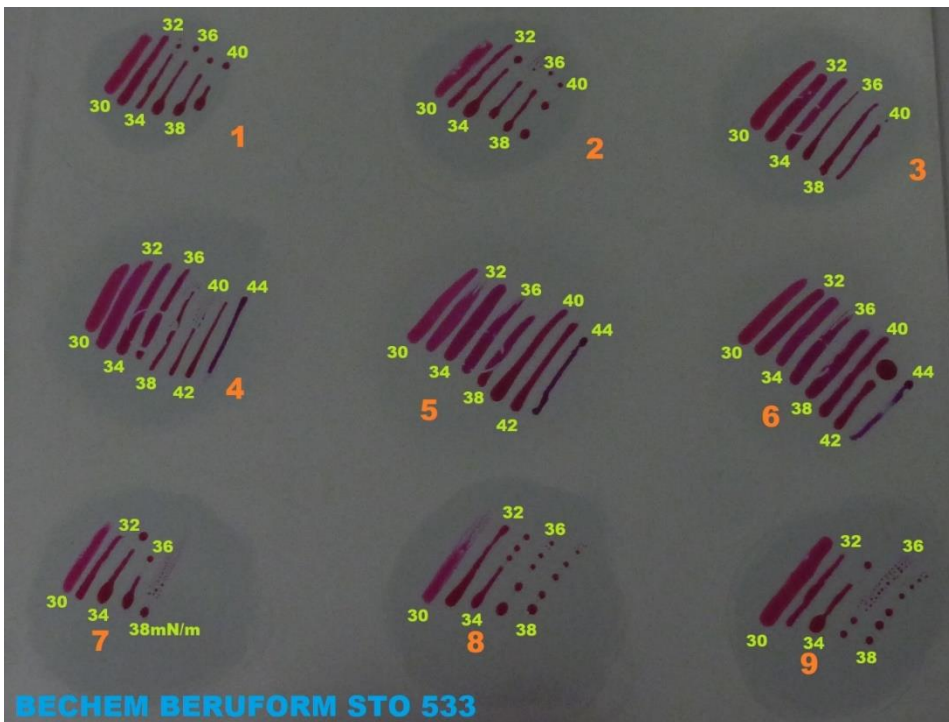
Tintas de prueba: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m y 36 mN/m

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

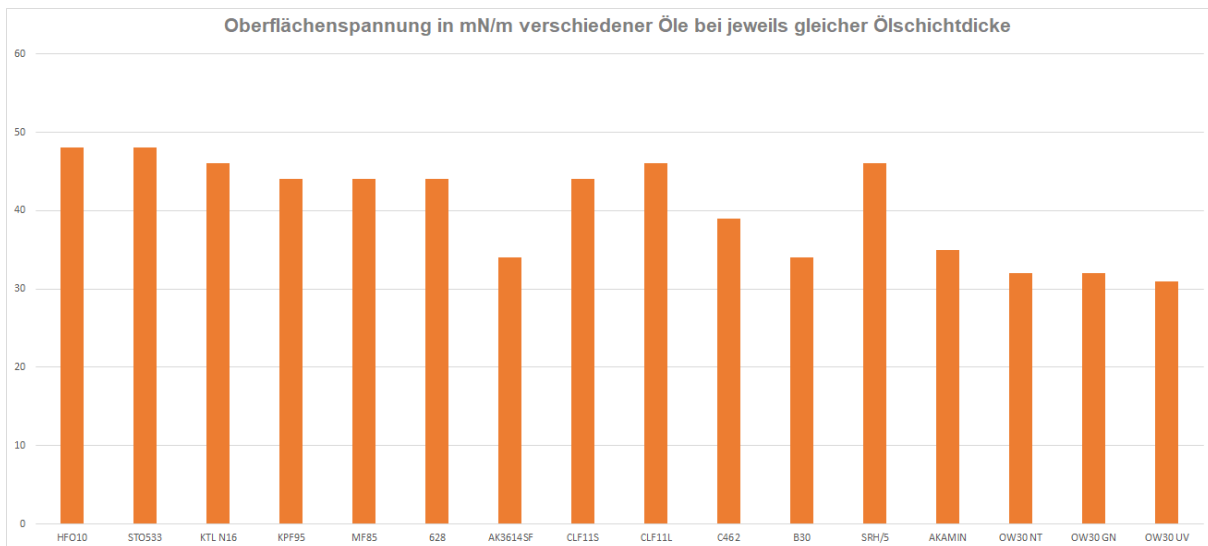
#### 5.4 Lista de los tipos de aceite comprobados

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 aproximadamente  $<1 \mu\text{m}$ ). 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.

## 5.5 Control de restos de aceite con SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)

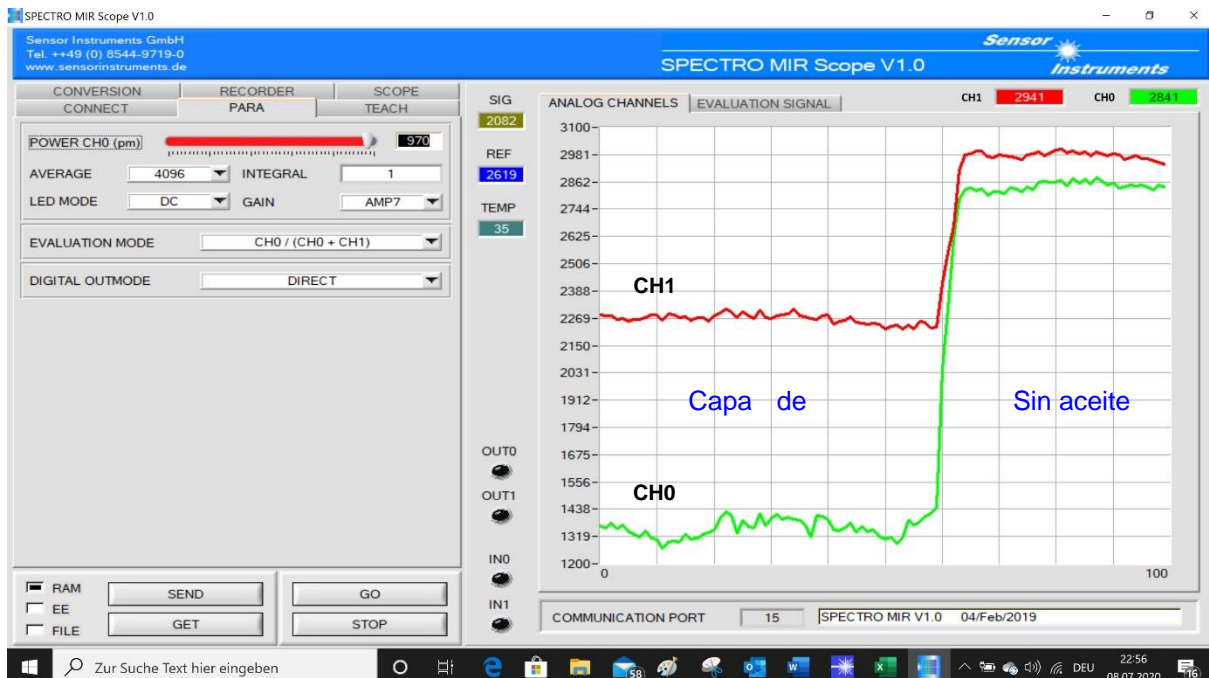
### 5.5.1 Sensor MIR y aplicación

Con el **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR/MIR1)** se midieron los puntos de medición 1-9 uno tras otro a una distancia de trabajo de 10 mm, mientras que las posiciones 10-13 sirvieron como ubicaciones de referencia. El valor medido normalizado resulta de los dos valores medidos determinados en las dos ventanas de medición en el MIR –



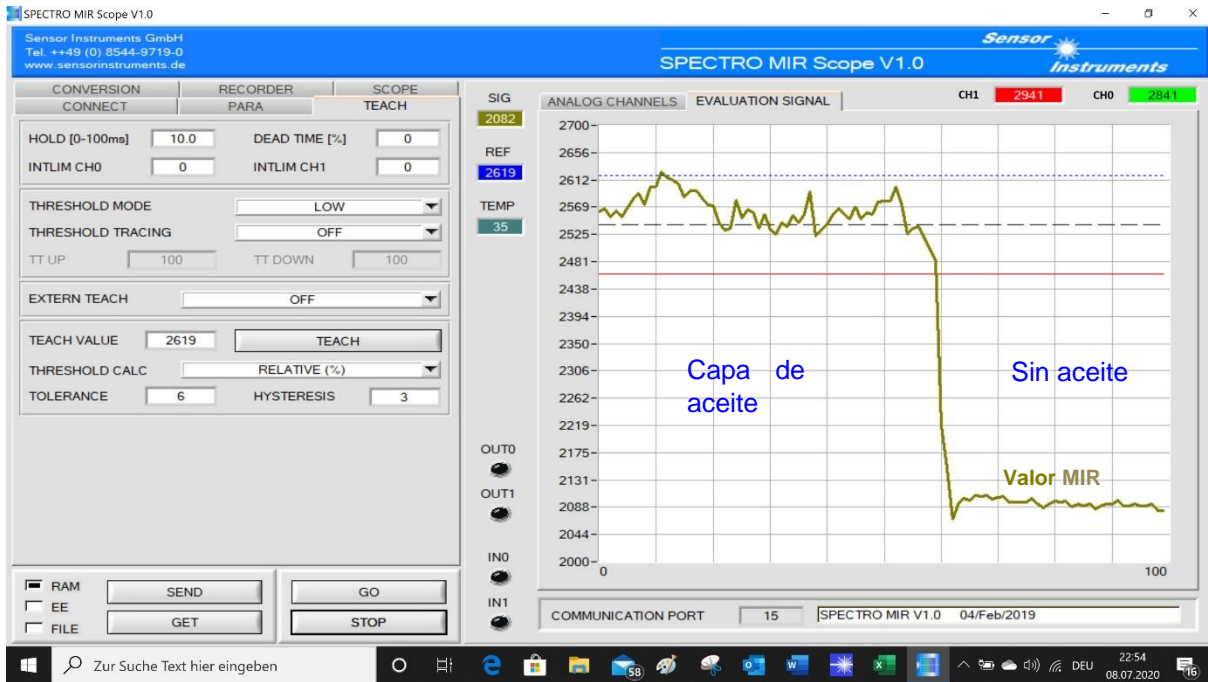
Durante las mediciones, se estableció una conexión al ordenador a través de una interfaz serial. La parametrización de los sensores, así como la visualización numérica y gráfica de los datos de medición, se realizó mediante el software de Windows® **SPECTRO MIR Scope V1.0**.

Mediante el software se puede seleccionar, a través de EVALUATION MODE, cómo se genera la señal normalizada:  $MIR = CH0/(CH+CH1)$  o  $MIR = CH1/(CH0+CH1)$



La capa de aceite también modifica las propiedades ópticas de la superficie metálica. La superficie se vuelve más oscura y esto también reduce la reflexión óptica en ambos canales.

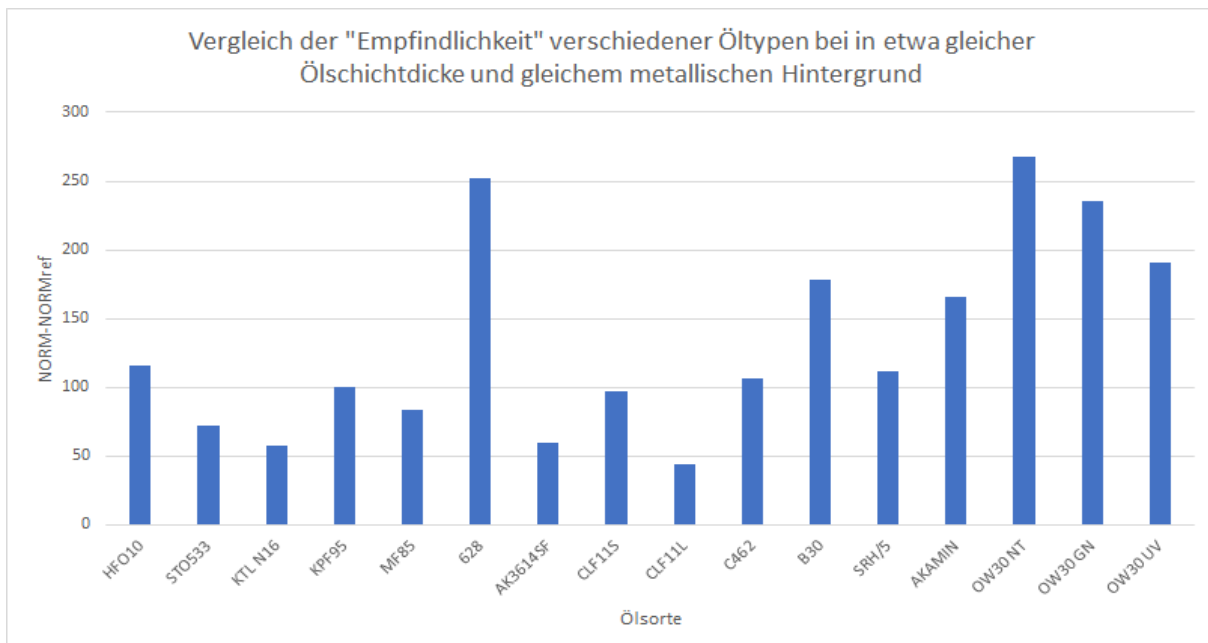
Además de la visualización de los dos valores medidos CH1 (valor de referencia a 4 µm) y CH0 (valor medido a 3 µm), también se muestra el valor normalizado  $SIG = MIR = CH1/(CH0+CH1) \times 4095$ .



Visualización del valor normalizado MIR =  $SIG = CH1/(CH0+CH1)$

El software de ordenador "MIR Monitoring" también se puede utilizar para mediciones en línea. De este modo, el operador de la instalación puede ver la situación actual de la calidad y la tendencia en un monitor de PC durante la producción a través de un diagrama de barras. Además es posible registrar y guardar los datos de medición en formato ASCII de modo que, después, se puedan evaluar con un programa de cálculo de tablas, p. ej., Excel®.

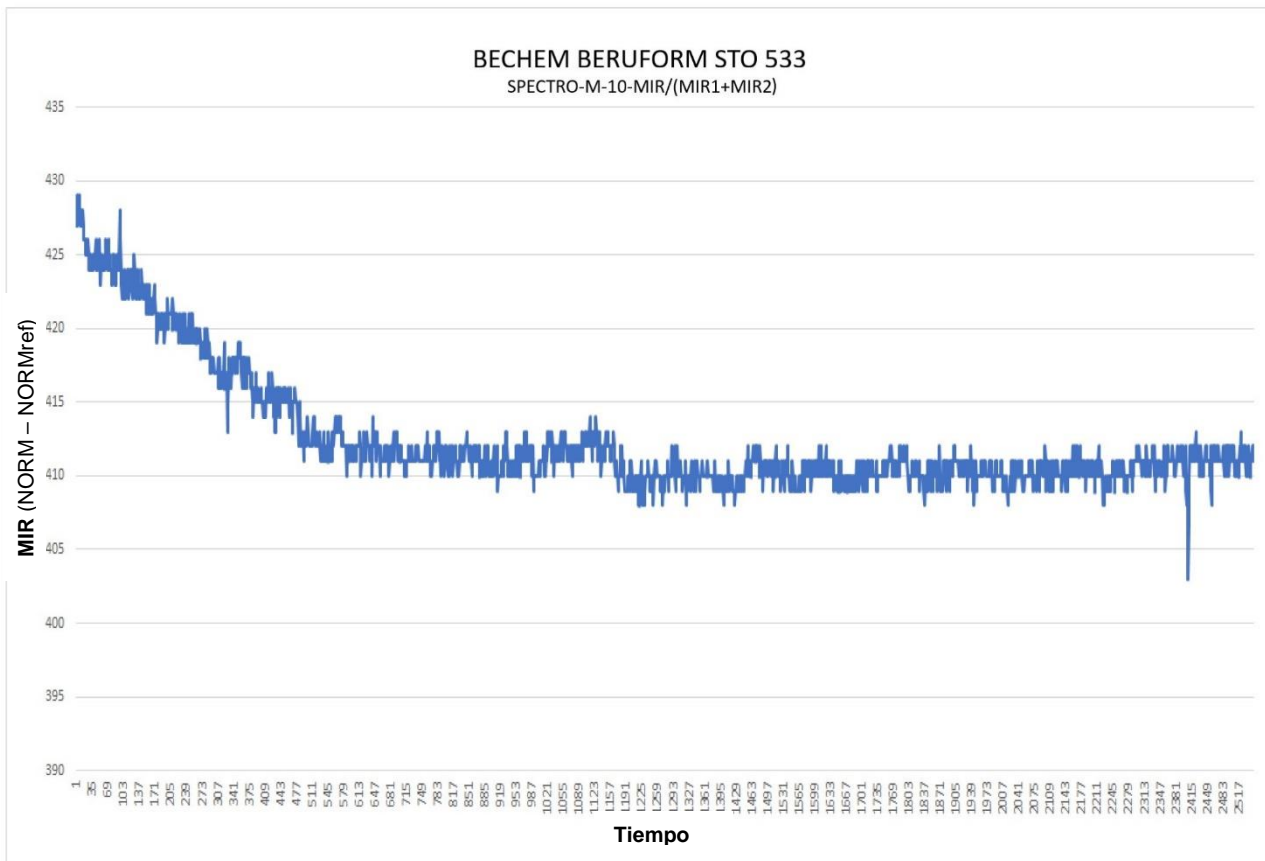
### 5.5.2 Comparación de las sensibilidades de los diferentes aceites con el mismo espesor de capa de aceite



También con el método de medición MIR, 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 métodos de medición UV, se pudieron detectar todos los tipos de aceite y la diferencia entre la muestra más sensible y la más insensible es de tan solo factor de 7.



### 5.5.3 Dependencia de la señal de medición MIR del tiempo



Algunos de los aceites examinados mostraron propiedades de evaporación. Es decir, al observar durante un tiempo prolongado, la señal medida se debilitó hasta que se ajustó a un valor determinado. Realizamos mediciones de prueba durante un tiempo prolongado para estos aceites con el fin de investigar este comportamiento. Al hacerlo, 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).

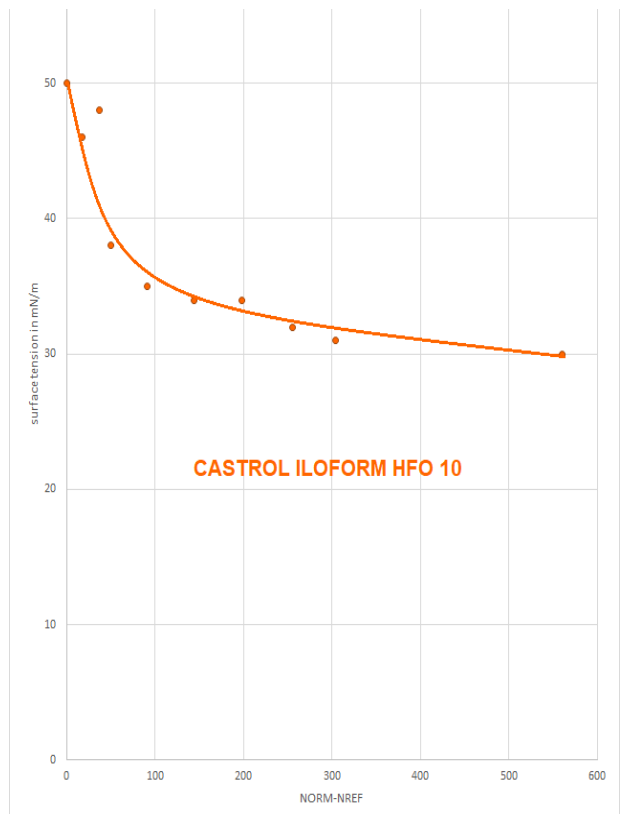
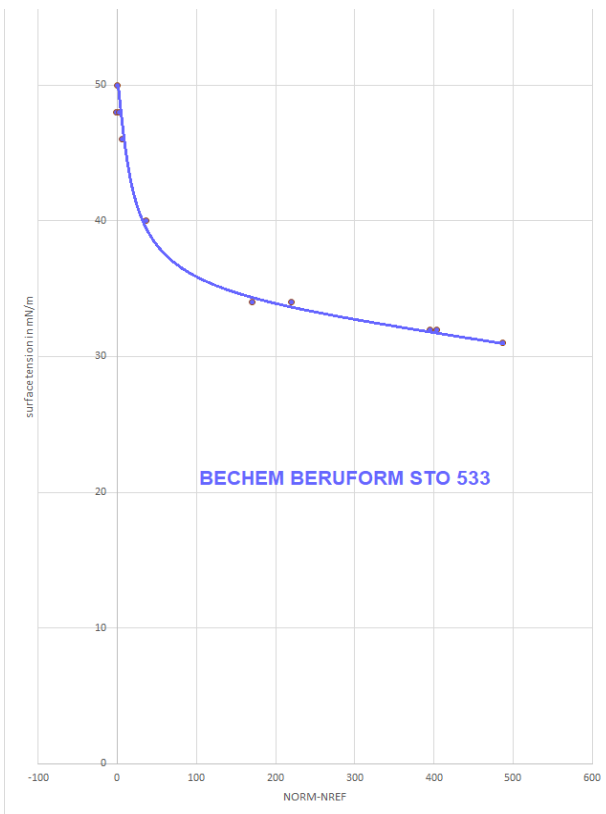
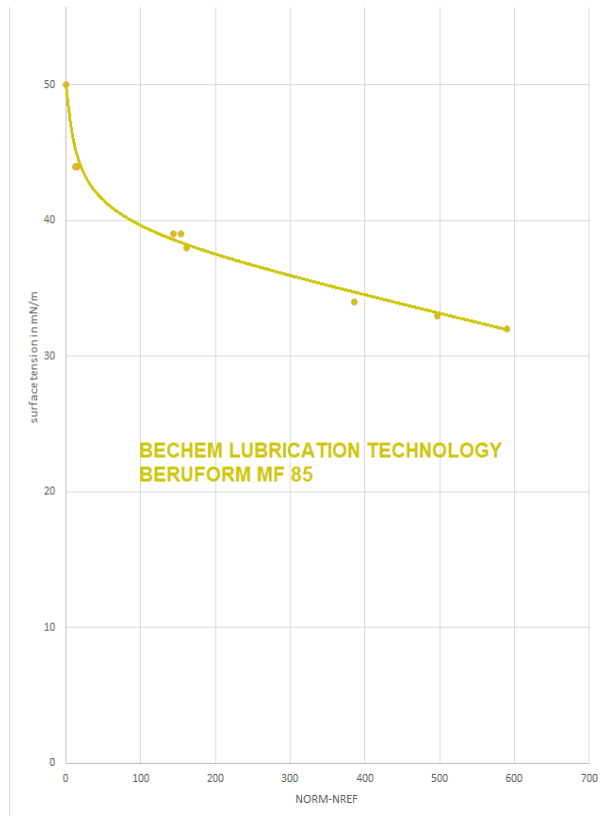
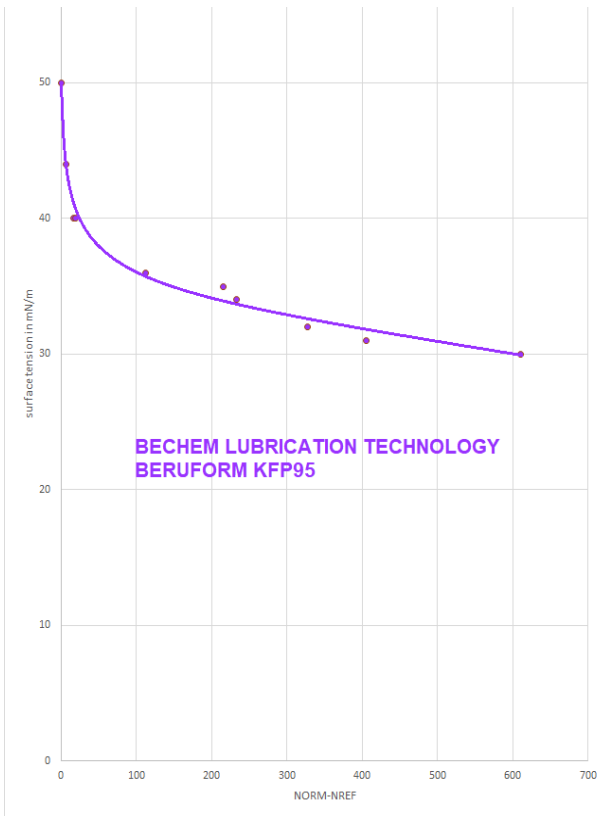
En el caso del aceite BECHEM BERUFORM STO 533, se pudo apreciar una disminución en el rango normalizado de aprox. el 5 % con respecto a la señal inicial (que corresponde a un factor de alrededor de 1.05). El efecto observado probablemente se puede atribuir al hecho de que parte del aceite se evapora y, después, se establece un equilibrio.

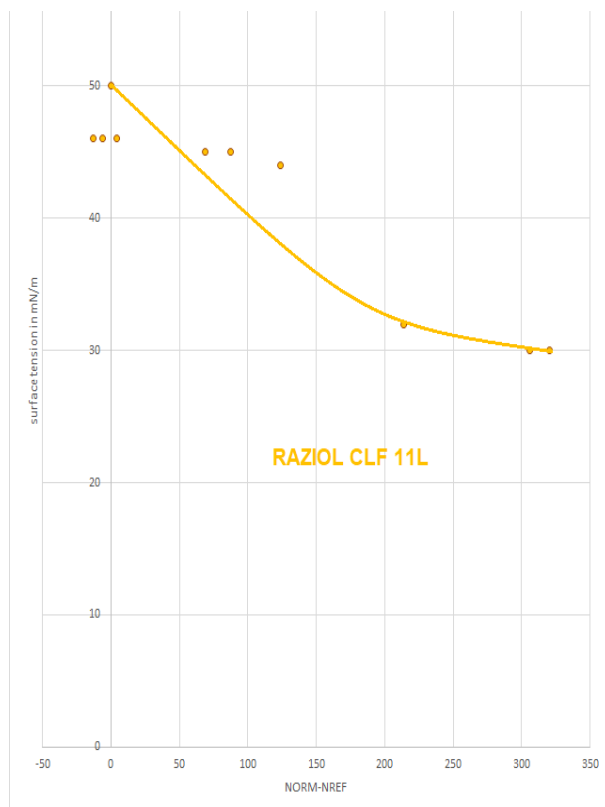
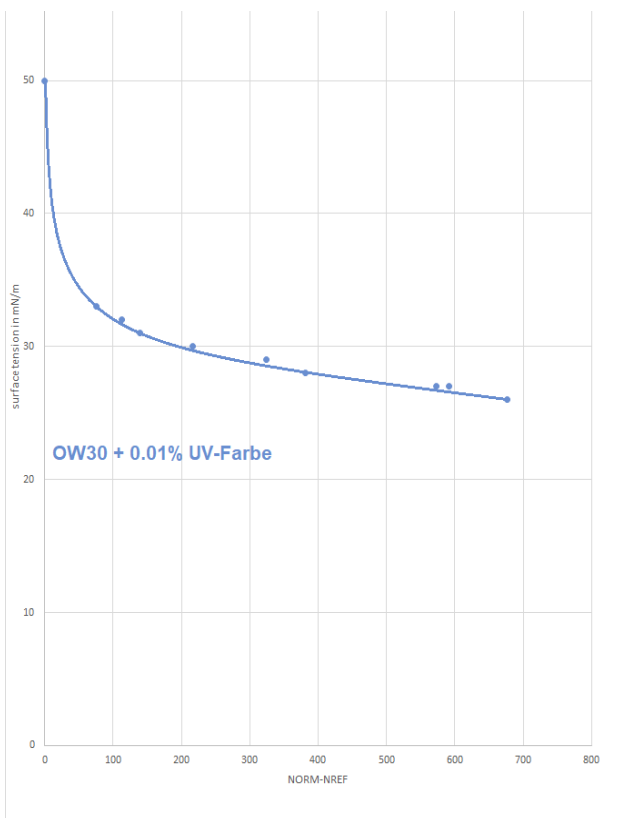
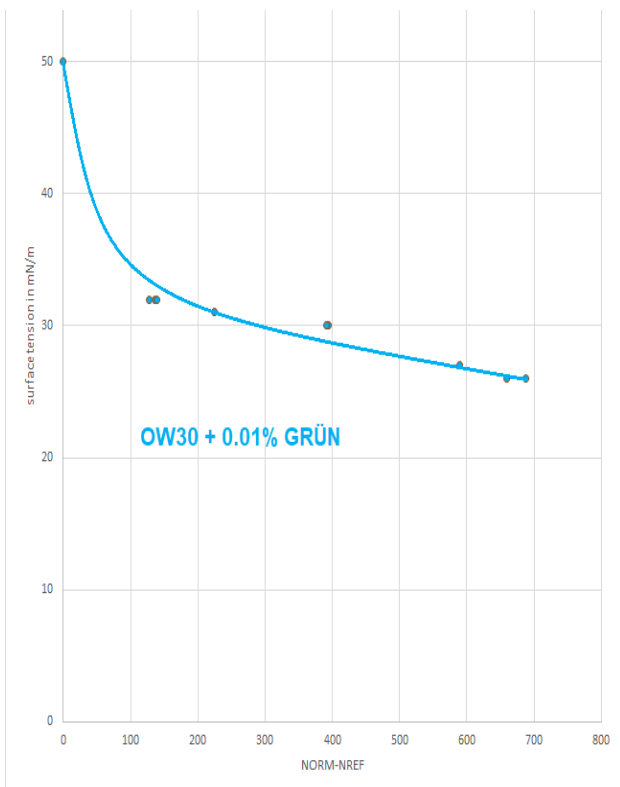
Dado que la energía de la excitación en el rango MIR es menor en un factor de 10 que en los métodos con UVA y UVC, la influencia de la excitación MIR en los compuestos poliméricos y, por lo tanto, en la medición, debería ser significativamente menor que con la excitación UV de energía comparativamente alta.

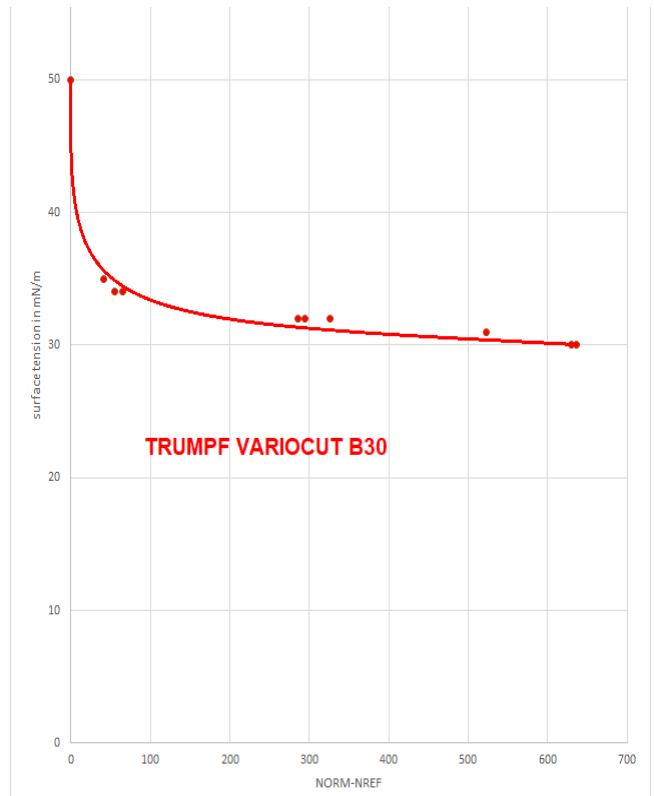
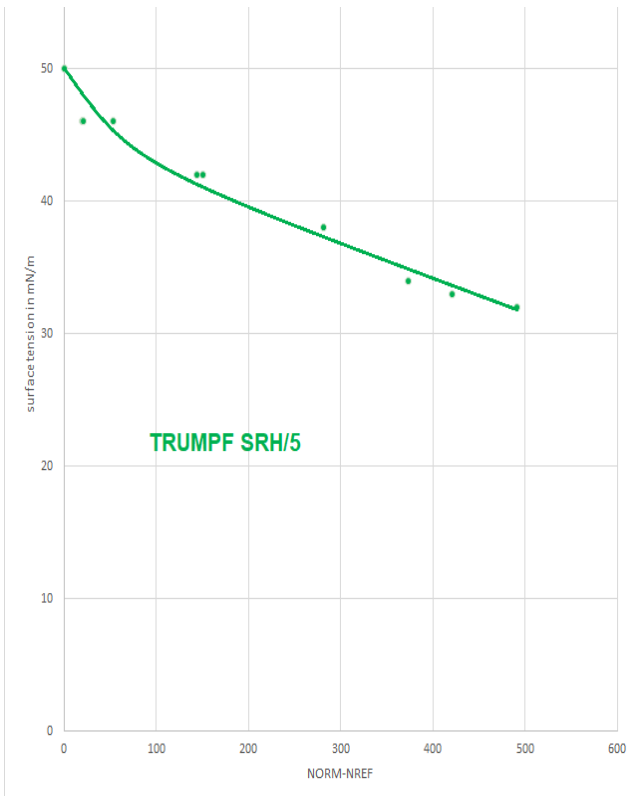
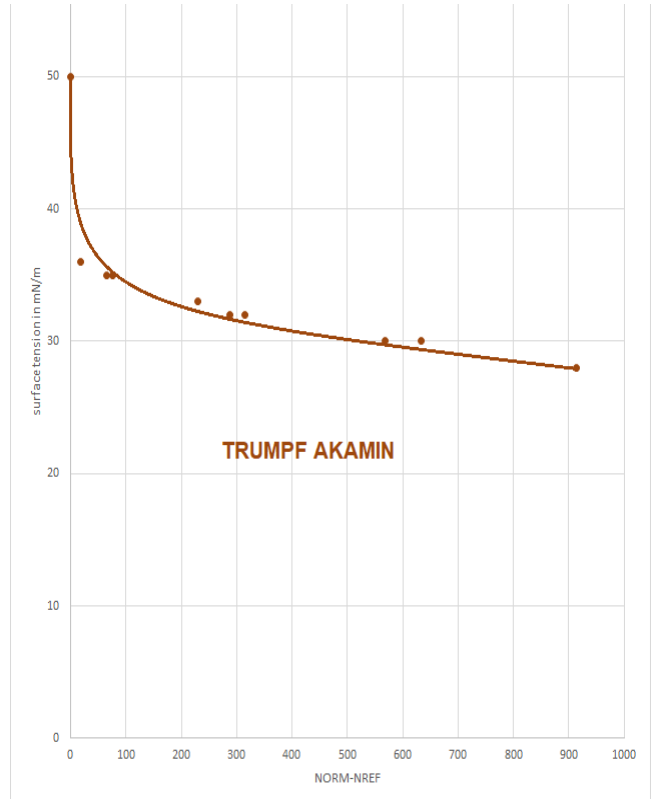
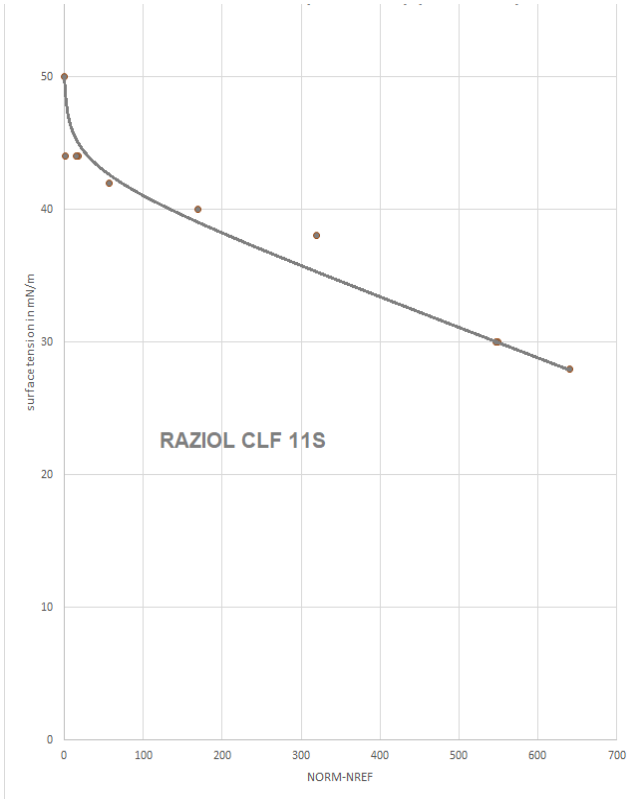
### 5.5.4 Correlación de la señal MIR y la tensión superficial medida por tipo de aceite

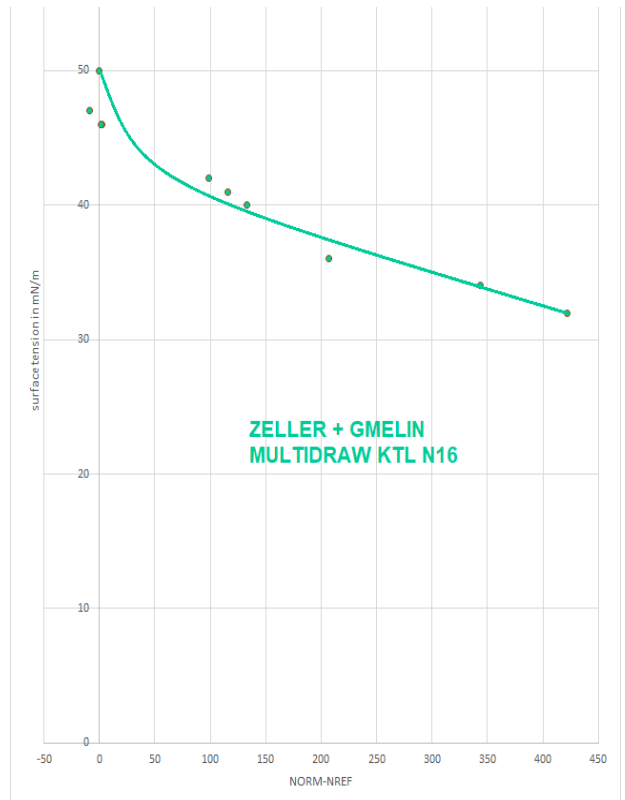
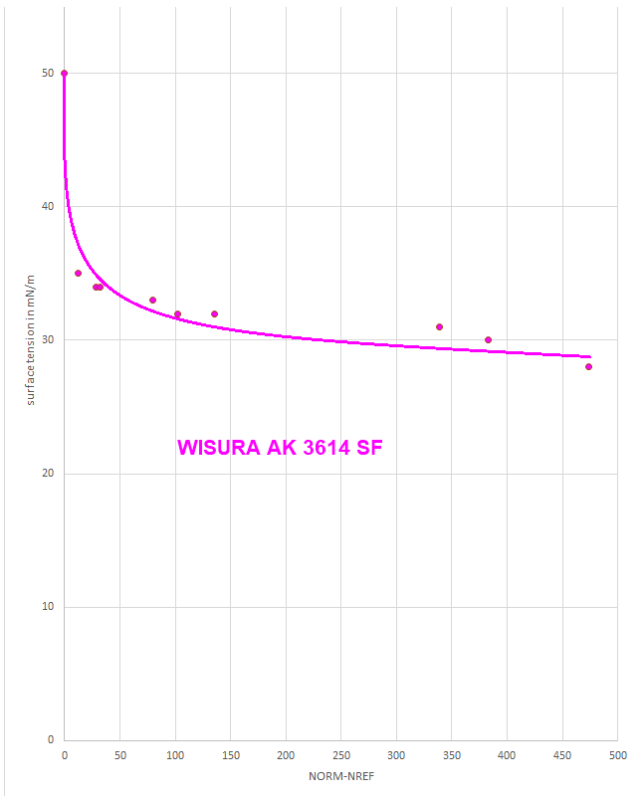
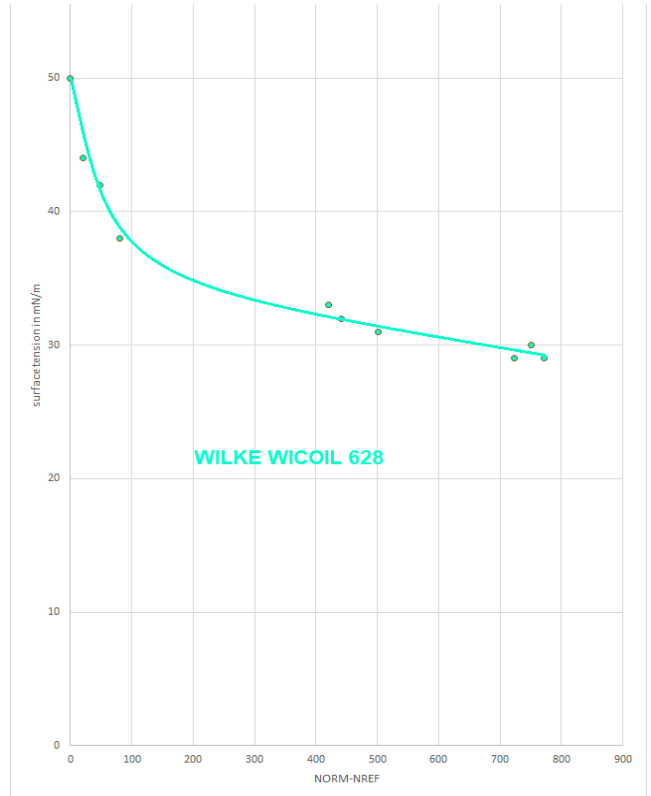
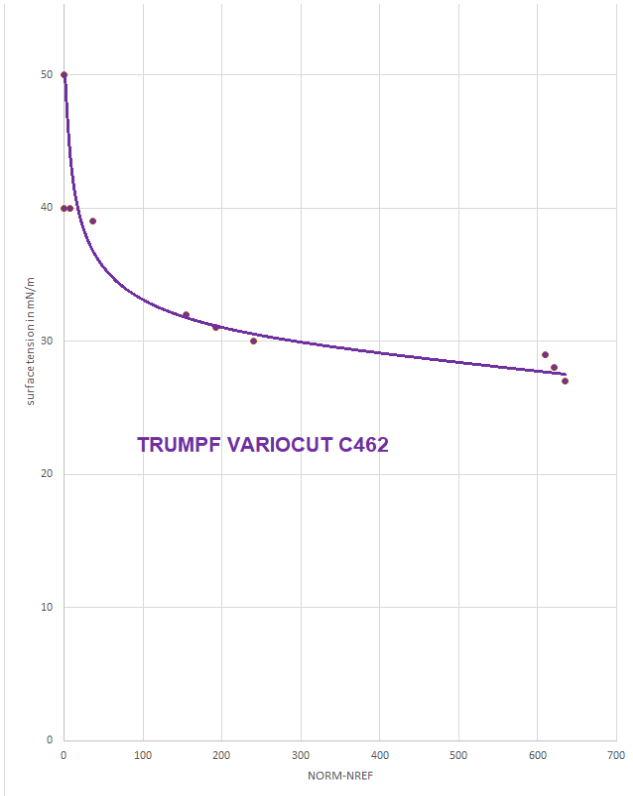
Los tipos de aceite se midieron en las posiciones de 1 a 9 (**NORM**) después de que se formara inicialmente un valor de referencia promedio (**NORMref**) en las cuatro posiciones de referencia (posición 10, 11, 12, 13). La diferencia entre los dos valores **NORM - NORMref** sirve como medida para la tensión superficial.

Los siguientes gráficos documentan los resultados de medición. Sobre la ordenada (eje x) se aplicaron los valores MIR medidos = **NORM - NORMref** del SPECTRO-M-10-MIR, y sobre la coordenada (eje y), los valores de la tensión superficial en **mN/m** obtenidos con el método de las tintas de prueba rojas.

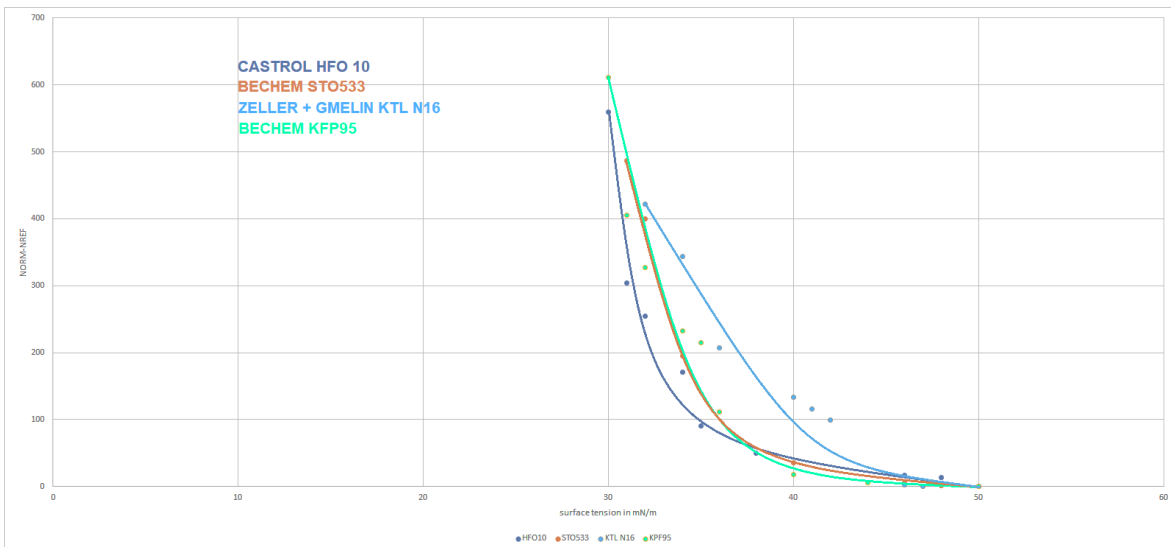
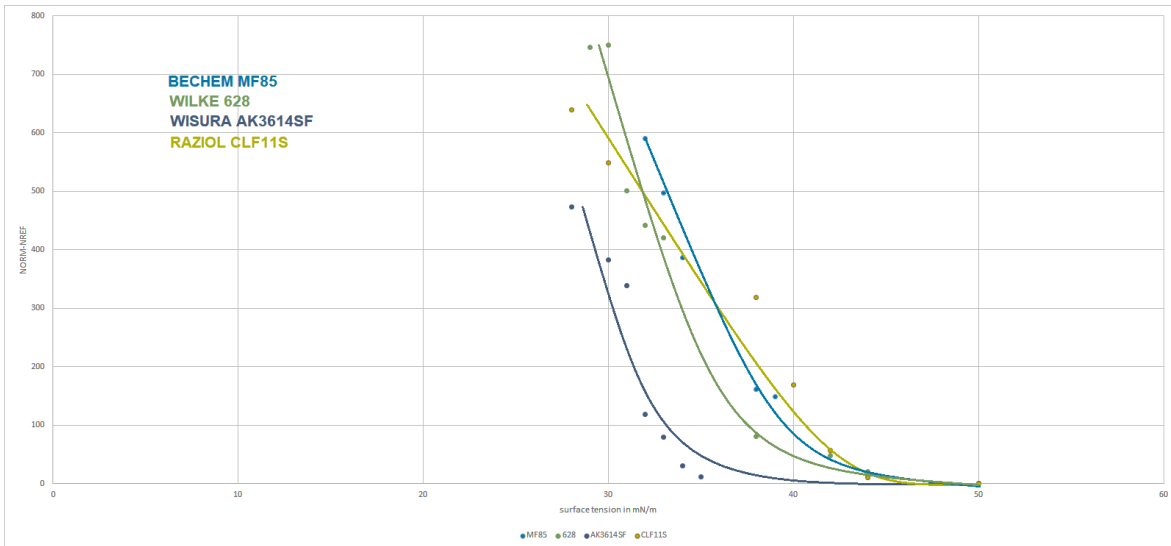
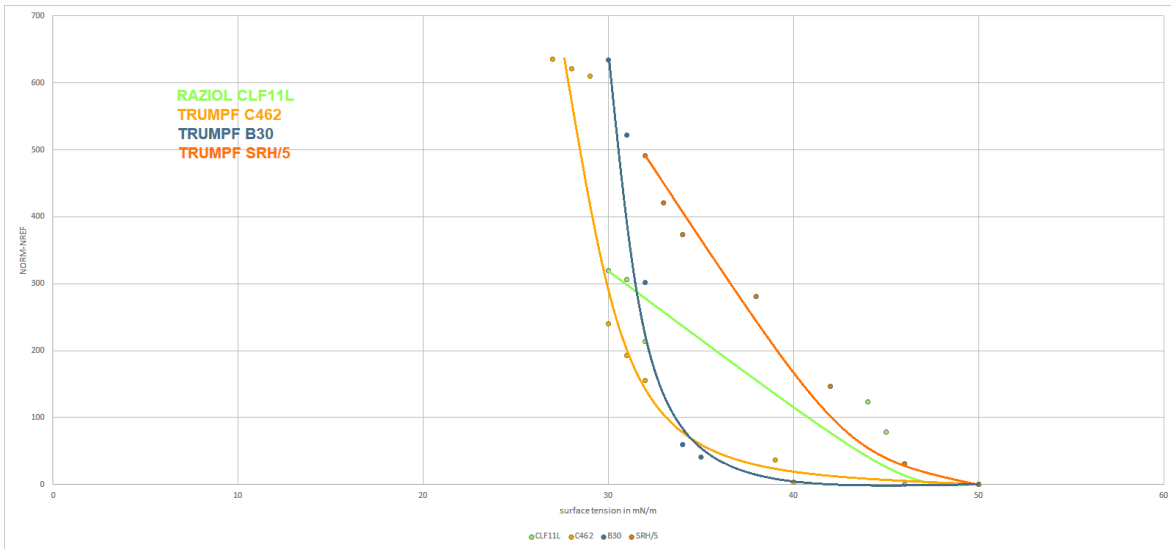


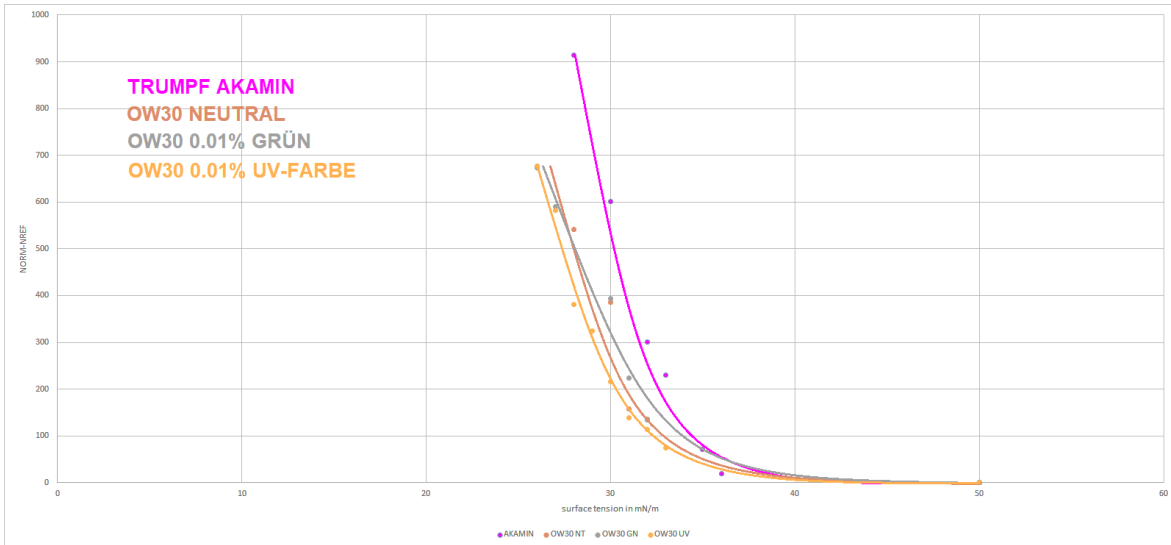






### 5.5.5 Comparación de los valores medidos MIR en función de la tensión superficial





De las curvas de medición se puede ver que se recomienda una calibración de fondo (Normref) en la superficie metálica subyacente también para el método de medición MIR. Para después calibrar el método de medición de referencia, se deben medir las capas de aceite seleccionadas con ambos métodos e introducir los valores en la herramienta CONVERSION del software SPECTRO MIR Scope.

Ambas calibraciones pueden ser realizadas por el 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.

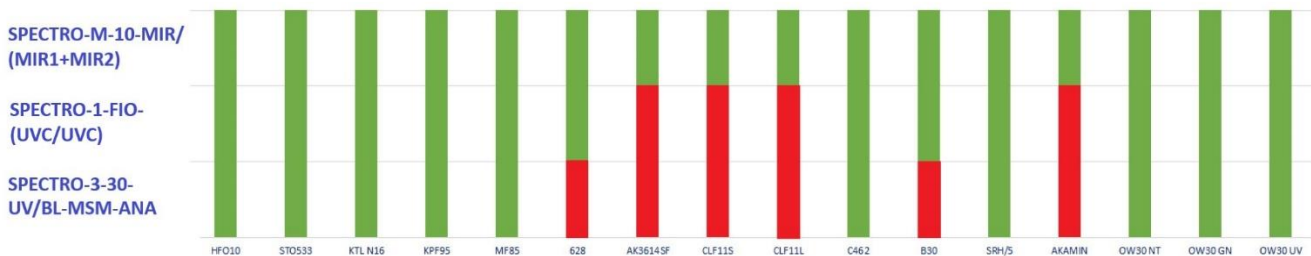
**5.5.6 Comparación del método MIR con sensores UVA y UVC**

Paralelamente a las mediciones con el sistema MIR se probaron también los mismos aceites con sensores UV (UVA y UVC) de Sensor Instruments.

El SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) es un sensor de guía de luz con excitación en el UVC (265 nm) con el cual se registra la reflexión/absorción en el UVC, mientras que el SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA es un sensor de fluorescencia con excitación UVA (LED de alto rendimiento, 365 nm) que evalúa las emisiones en el rango visible (tip. de 450 nm a 700 nm).

Debido a las propiedades de los tipos de aceite probados, los dos sensores UV no pudieron registrar todos los aceites dado que algunos mostraron ninguna o casi ninguna fluorescencia UVA o absorción de UVC. La siguiente tabla compara el MIR y los dos métodos de medición UV respecto a su idoneidad para la medición de los tipos de aceite probados.

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



**Comparación de otras características importantes de los métodos de medición aplicados:**

Messverfahren	UVC	UVA	MIR
Empfindlichkeitsunterschiedsfaktor der verschiedenen Ölsorten	22	61	7
Signalabschwächungsfaktor bei Langzeitbelichtung	2	3	1.05
Fremdlichempfindlichkeit gegenüber Kunstlicht (LED - Weißlicht)	mittel	stark	gering
Messabstand in mm	5	15 (11)*	10
Detektionsbereich in mm	5	12 (1)*	10

\* für das UVA - Messverfahren gibt es auch eine Lichtleiterversion, womit entsprechend kleine Detektionsbereiche erreicht werden können.

En comparación con el método de medición UV con guía de luz (punto de medición pequeño), el SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) 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 UV. Una de las principales ventajas del proceso de medición MIR es la evaluación normalizada. Aunque no puede reemplazar la calibración individual para cada tipo de aceite y superficie metálica, se pueden compensar en gran parte las variaciones en la superficie metálica y 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.

**5.5.7 Resumen del control de restos de aceite**

En la práctica, la presencia de películas de aceite en superficies metálicas se ha probado hasta ahora muchas veces de forma aleatoria utilizando métodos fuera de línea, como 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 de las tintas de prueba 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.

Con la serie SPECTRO-M hay disponibles sensores en línea que, después de una igualación de referencia (con una superficie limpia del metal), también pueden detectar capas de aceite muy finas (< 1 µm) sobre superficies metálicas sin contacto.

Con la llamada función CONVERSION del sensor es posible asignar valores de referencia de otros métodos a los valores MIR normalizados del sensor para la medición de la tensión superficial. Después de la calibración del sistema de referencia, el sensor convierte automáticamente los valores medidos en los valores del sistema de referencia antes de que se muestren o emitan. La emisión a un PLC de los valores medidos se puede realizar a través de una interfaz de datos o una salida analógica (0-10 V, o bien 4-20 mA)



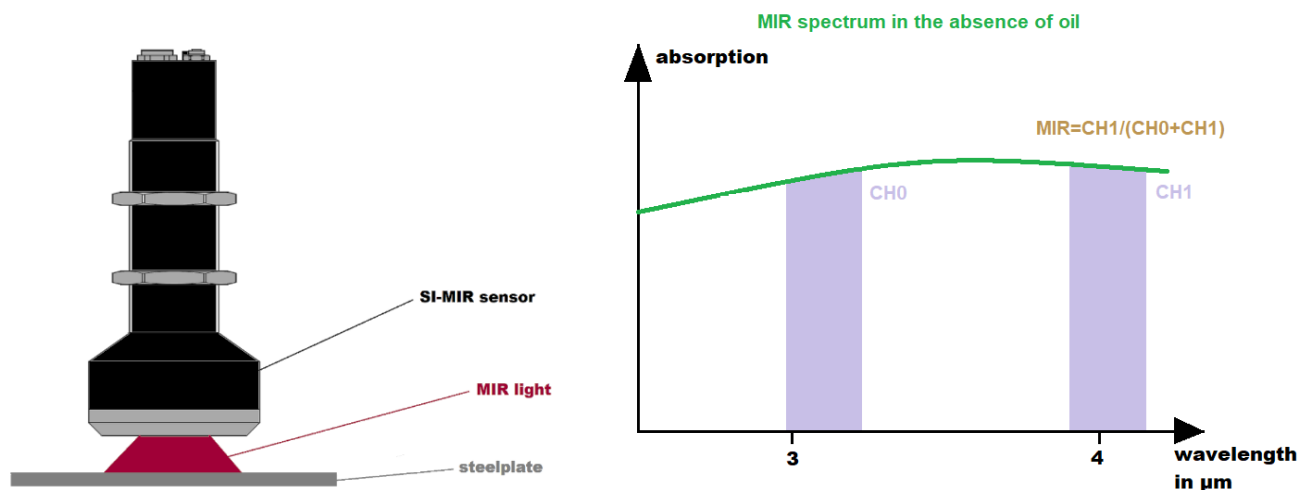
## 5.6 Control en línea del espesor de la capa de aceite

Si se desea calcular el espesor de capa de un recubrimiento de papel, p. ej. una tinta de impresión, el método del gramaje sería sin duda un sistema adecuado para determinarlo. El gramaje del recubrimiento de papel de la tinta de impresión no debe diferir en órdenes de magnitud del gramaje del papel, que presenta un espesor habitual de 0,05 mm a 0,2 mm. Por lo tanto, nada impide obtener resultados fiables si se utilizan balanzas precisas. ¿Pero qué ocurre si en vez de una tinta de impresión utilizamos aceite y en vez de una hoja de papel utilizamos una chapa de acero de 1 mm de espesor, por ejemplo? El método del gramaje podría quedarse corto.

¿Cómo podríamos determinar sin contacto de forma fiable el espesor de las capas de aceite sin demasiado esfuerzo? Por un lado, tenemos el método de fluorescencia, en el que se utiliza luz UVA para activar la fluorescencia. En este caso, la emisión secundaria se produce en el rango de longitud de onda visible. La intensidad de la señal de fluorescencia sirve como medida para el espesor de la capa de aceite correspondiente. Sin embargo, también existen aceites en los que la fluorescencia apenas se puede medir o falta por completo, y, por lo tanto, no funciona la medición del espesor de capa con este método. En capas muy finas, la señal de fluorescencia tampoco es muy pronunciada.

Si miramos el rango del infrarrojo medio (MIR), observamos que los recubrimientos orgánicos, p. ej., una capa de aceite, muestran una absorción significativa en CH<sub>0</sub>, mientras que en la ventana de longitud de ondas de referencia (CH<sub>1</sub>) no se produce ninguna absorción.

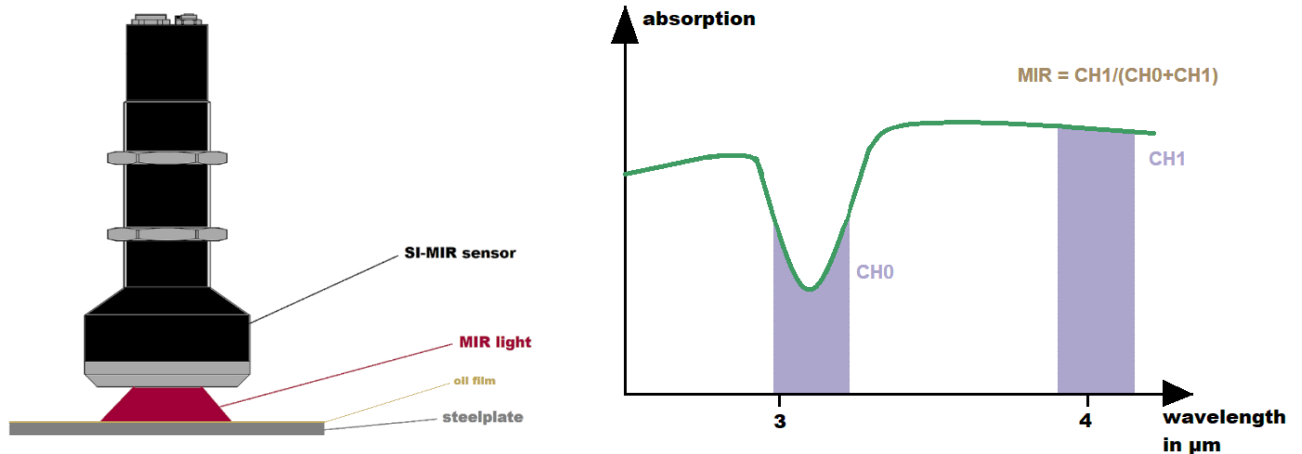
La señal MIR del SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) muestra (en una primera aproximación) una relación proporcional entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada.



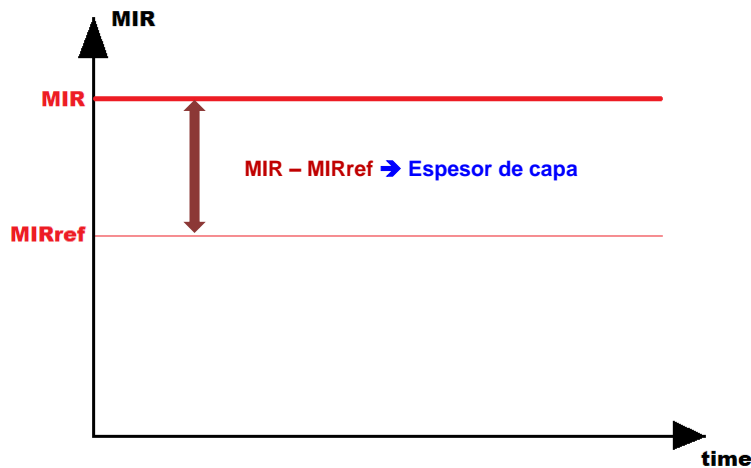
El sensor SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2) dispone de dos ventanas de longitud de onda para evaluar la señal reflejada. Sin capa de aceite la absorción en ambas ventanas de longitud de onda es aproximadamente equivalente. Este valor se puede utilizar como valor de referencia para la superficie metálica desengrasada.  $MIR_{ref} = CH_1 / (CH_0 + CH_1)$  corresponde al valor de referencia normalizado de la superficie metálica sin capa de aceite, donde CH<sub>0</sub> y CH<sub>1</sub> son las señales sin procesar determinadas a partir de las dos ventanas de longitud de onda.

Si ahora humedecemos la superficie de acero con una capa de aceite homogénea, observaremos un aumento de la señal MIR en el espectro MIR:

MIR spectrum in the presence of oil



El canal de medición CH0 (a la izquierda) detecta la absorción adicional provocada por la capa de aceite, mientras que la ventana de medición CH1 (a la derecha) permanece prácticamente inalterada.



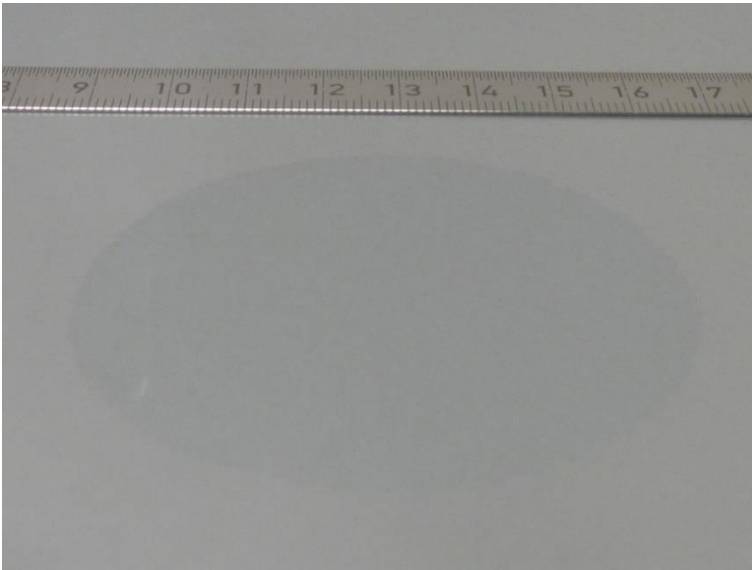
En la ventana CH0, el valor medido  $MIR = CH1/(CH0+CH1)$  se desplaza hacia arriba por la absorción adicional. Cuanto más intensa sea la absorción, es decir, cuanto más espesa sea la capa de aceite, por ejemplo, más se alejará el valor MIR del valor de referencia MIRref (sin capa de aceite).

Gracias a los distintos aceites analizados hasta ahora, se ha podido determinar que la absorción MIR no solo depende del espesor de la capa de aceite, sino del tipo de aceite. Además, el fondo metálico reflectante también influye en el resultado de la medición, por lo que se debe realizar una calibración con respecto al tipo de aceite y el fondo en cuestión antes de determinar el espesor real de la capa de aceite.

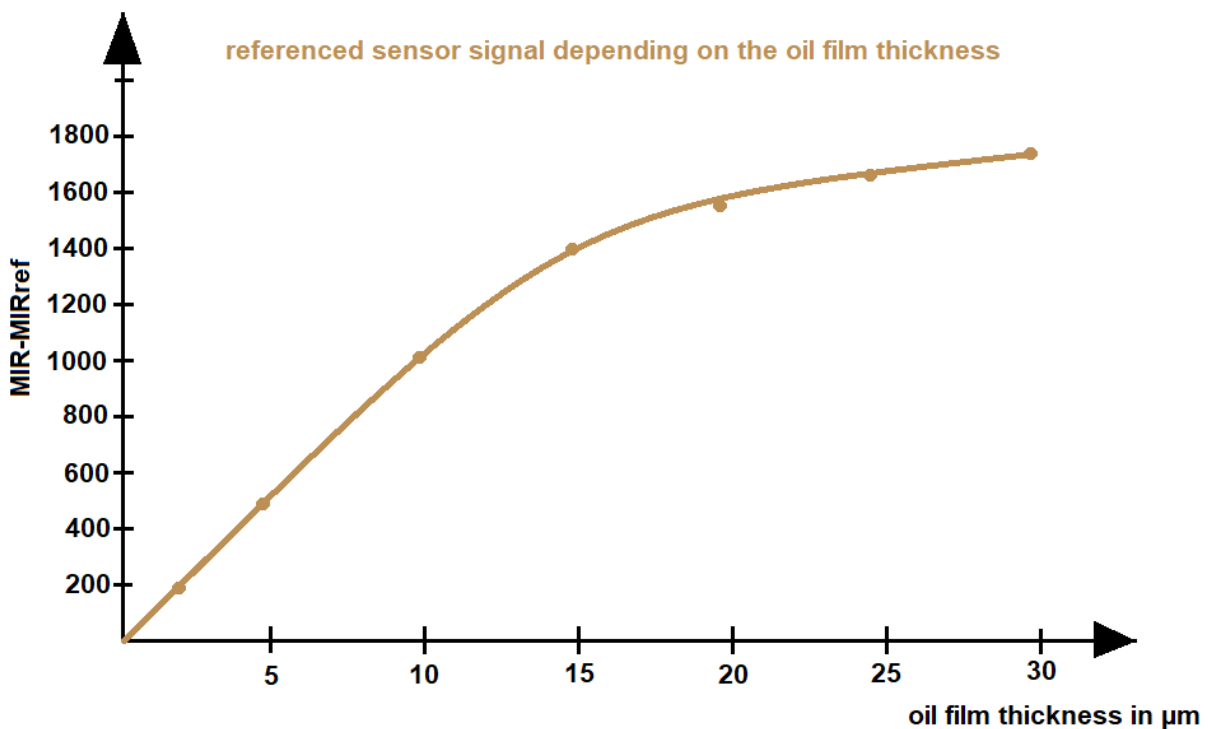
Procedimiento: Para las pruebas se aplicaron sucesivamente unas gotas de aceite con un volumen de 20 μl de aceite sobre una superficie metálica desengrasada del mismo tipo. A continuación, la gota de aceite se distribuyó de forma homogénea con una espátula por una superficie con un diámetro de 70 mm. De este modo, ya podremos calcular el espesor de la capa: con un volumen de aceite de 20 μl, en un diámetro de mancha de aceite de 70 mm, el espesor de capa es 5 μm aprox.; con dos gotas (40 μl), 10 μm; con 3 gotas (60 μl), 15 μm, etc.



Una vez que se puedan preparar las muestras con el espesor de capa correspondiente, se podía iniciar la serie de mediciones. Primero, se determinó el valor de fondo promediado MIRref (en secciones sin aceite) entre las muestras de aceite. Después de la calibración se colocó el sensor **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** uno tras otro sobre las distintas superficies de muestra y se registraron los valores medidos para los espesores de capa individuales.



Al final del proceso, obtenemos una tabla de valores que a continuación mostramos en forma de diagrama:



Se puede deducir del diagrama que la resolución del método de medición se sitúa en 10 nm aproximadamente (5000 nm/500 dígitos); la precisión de medición se mueve en un rango que ronda los 50 nm. Hasta un espesor de capa, la señal MIR es casi lineal con el espesor de capa. El límite superior para la medición del espesor de capa MIR es de alrededor de 15  $\mu\text{m}$  para el aceite medido.

Para la medición en línea, solo habrá que retirar el distanciador y ¡listo! Además de las salidas digitales y analógicas, los sensores también tendrán un bus de campo opcional en el futuro. El sistema se puede parametrizar y monitorizar cómodamente a través del software Windows® MIR Scope V1.0. La distancia típica entre el sensor y la superficie del objeto es de 10 mm; el área de detección es de aproximadamente 10 mm de diámetro. Para medir objetos más pequeños, se colocan paneles que limitan el rango de medición. Puesto que

el sistema de medición funciona normalmente en modo CC, se pueden alcanzar ciclos de medición de hasta 10 kHz.

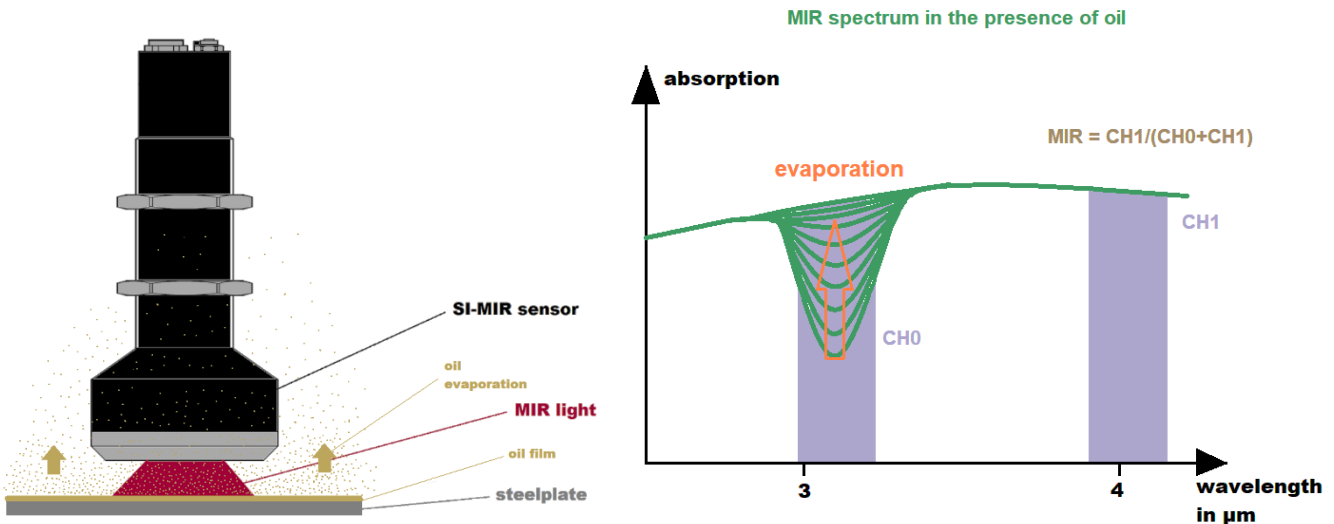
### 5.7 Medición de evaporación de aplicaciones de aceite

Para fabricar piezas troqueladas y dobladas, cada vez se utilizan más los aceites de troquelado y trefilado que se deben evaporar después de un tiempo determinado. La idea es dejar la menor cantidad posible de residuos de aceite en las piezas metálicas troqueladas o modeladas para poder ahorrarse en muchos casos el proceso de limpieza al procesar las piezas metálicas. ¿Pero qué cantidad del aceite aplicado permanece realmente en el componente y cuánto dura el proceso de evaporación?

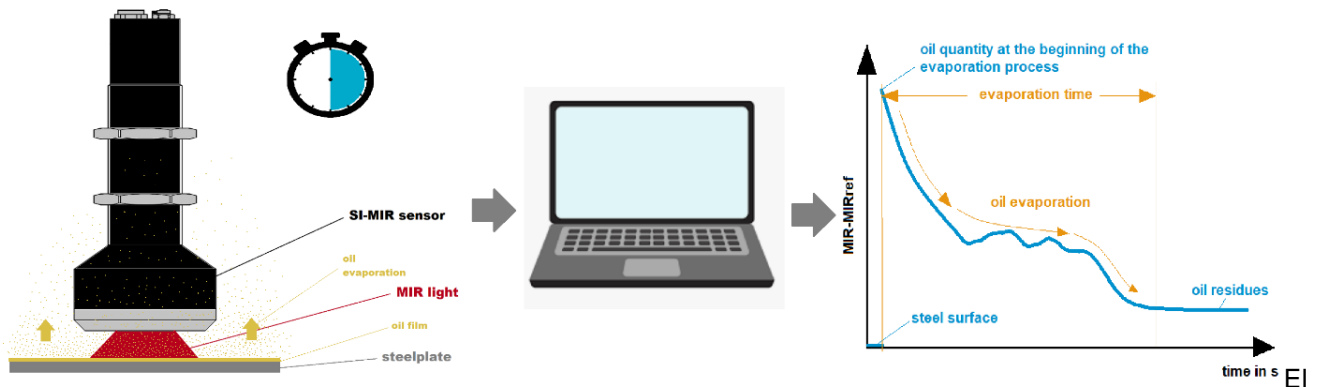
Para la medición de evaporación se han aplicado 5 gotas de aceite (5 x 20 µl) en chapas de acero desengrasadas y se han distribuido sobre una superficie de 70 mm de diámetro.

El espesor de la capa de aceite al principio del proceso de medición era de unos 25 µm. A continuación, se colocó un sensor **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)** en el centro de la mancha de aceite y se inició la medición.

Espectro MIR inmediatamente después de aplicar la capa de aceite de 25 µm de espesor. El rango de longitud de onda CH0 se ve afectado por la presencia de aceite, mientras que en el rango de longitud de onda CH1 no se puede observar ninguna disminución de la señal.

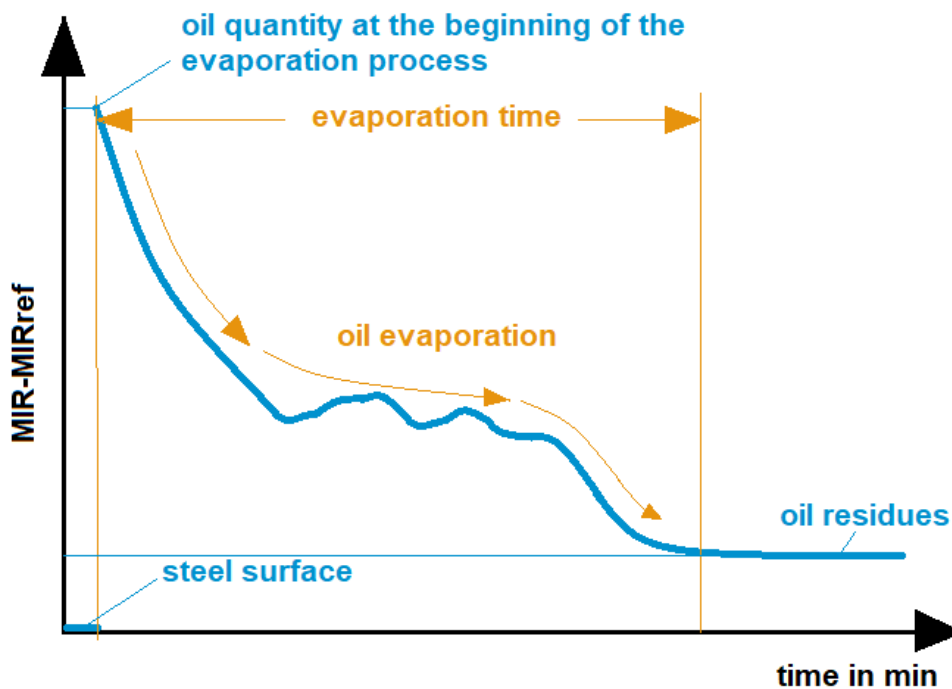


Señal MIR a cámara rápida: la reducción de la señal provocada por el aceite en el CH0 disminuye al aumentar la evaporación de aceite.



valor estandarizado MIR, previa deducción de la señal de referencia estandarizada MIRref (MIR-MIRref) se registró durante un periodo de varias horas con ayuda del software Windows® MIR Scope V1.0:

Al hacerlo, se pudo apreciar una evolución similar en todas las muestras de aceite comprobadas, como puede verse en el siguiente diagrama:



La evaporación duró entre 60 min y 90 min. Los restos de aceite en la muestra que se evaporaba con más intensidad fueron típicamente del 1 % del espesor de la capa original y, en la muestra que se evaporaba con menos intensidad, del 50 % del espesor de la capa de aceite original.

El método de medición permite comprobar el tiempo de evaporación de los aceites de forma rápida y sencilla basándose en espesores de capa definidos. La señal restante, que permanece medible después de que la señal MIR se haya ajustado a un estado estable, indica residuos orgánicos en la superficie que permanecen después del proceso de evaporación.

La función Recorder del software SPECTRO MIR Scope del sensor SPECTRO-M permite el registro y la grabación continuos de los valores medidos como un archivo ASCII que, después, se puede exportar a un programa de cálculo de tablas para su evaluación.

## 6 Mediciones de prueba en la gama CLF 11

En una serie separada de pruebas, se examinaron los aceites de troquelado de la gama CLF 11 de Raziol Zibulla & Sohn GmbH. Los resultados de la serie de pruebas se resumen en las páginas siguientes.

### 6.1 Método de prueba y método de referencia

El método de referencia utilizado fue el método de “tinta roja” con tintas de prueba de la empresa arcotest ([www.arcotest.de](http://www.arcotest.de)).

Los aceites que se deben examinar se aplican sobre una chapa de metal desengrasada (p. ej., GARDOBOND de Chemetall) y, después, la tinta de prueba con una cierta tensión superficial (indicación en la botella, p. ej., 38 mN/m) se aplica sobre la superficie del aceite con el pincel incluido en la botella.

Si la tinta de prueba se contrae en forma de gotas, continuaremos con el siguiente valor de tensión superficial más bajo hasta que la tinta de prueba aplicada humedezca la superficie del aceite. El valor de tensión superficial especificado en la botella de las tintas de prueba corresponde aproximadamente a la tensión superficial de la superficie metálica, incluida la capa de aceite.

Cuanto más fina sea la capa de aceite, más alta será la tensión superficial con el mismo tipo de aceite utilizado.

Para una serie de pruebas fue necesario aplicar el aceite correspondiente lo más fino posible sobre la superficie metálica desengrasada y, después, frotarlo lo más intensamente posible con un paño sin pelusa sobre la superficie metálica. Al hacerlo, el aceite se distribuyó de forma homogénea sobre un diámetro de unos 70 mm.

Habitualmente se obtienen con ello espesores de capa de aceite en el rango entre 0,1  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$ , dependiendo del tipo de distribución: Frotar 1 vez, frotar 2 veces, frotar 3 veces con una cantidad de aceite de 20  $\mu\text{l}$  (1 gota), 40  $\mu\text{l}$  (2 gotas), 60  $\mu\text{l}$  (3 gotas). El aceite se aplica con una pipeta. A continuación, dependiendo del espesor de capa necesario, el aceite se frota (para espesores de capa entre 0,1  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$ ), se extiende (para capas de 1  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ ) o se deja correr (para capas de 5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ ) como ya se describió. También en los dos últimos métodos se distribuye la cantidad de aceite en un diámetro de unos 70 mm. Para cada medición se utilizó una chapa de acero desengrasada y, según el método, un paño nuevo sin pelusa y una espátula de plástico que aún no se había utilizado. Además, para cada muestra se utilizó una chapa de prueba desengrasada de la empresa Chemetall



tipo GARDOBOND. El espesor de la capa se determinó utilizando el diámetro y el volumen de aceite (aprox. 20 µl por gota). El cálculo es una primera estimación, dado que ni el diámetro ni la cantidad de aceite se pudieron determinar con exactitud. Además, en las pruebas de medición se trataba de aceites de troquelado y trefilado que se evaporan, es decir, que desde el comienzo de la aplicación ya hubo una cierta pérdida. A la hora de extender el aceite y a pesar del uso de una cuchilla de plástico, no fue del todo posible evitar que el aceite residual se adhiriera a la cuchilla de plástico en lugar de a la superficie de acero. Debido a que la cantidad de aceite se había dejado escurrir, se tuvieron que aceptar mayores cantidades de evaporación dado que el proceso de escurrimiento tomó más tiempo en comparación con el de extender. Frotando la cantidad de aceite con un paño sin pelusa, la mayor parte del aceite permaneció adherida al paño. Por ello, ya no es posible un cálculo del espesor de capa.

Para nuestro propósito se utilizaron las correspondientes chapas de acero y chapas de aluminio con la propiedad superficial **desengrasada**.

La tensión superficial, determinada según el método de las tintas de prueba, debe ser superior a 50 mN/m en una superficie de la chapa de prueba GARDOBOND® aún no utilizada dado que no se pudo observar que incluso la tinta de prueba más alta (50 mN/m) se contrae en gotas sobre la superficie de acero.



## 6.2 Indicaciones del fabricante respecto a la gama CLF 11

Según la empresa Raziol Zibulla & Sohn GmbH, en la gama CLF 11 se trata de aceites de troquelado y trefilado que se evaporan rápidamente:

"Todos los productos de la serie Raziol CLF 11 ... W contienen como aditivo una protección anticorrosión temporal para el almacenaje en interiores. Los productos mencionados se volatilizan, según los aditivos que contengan, en un tiempo relativamente corto. La aditivación permanece sobre la superficie de la pieza."



Además, Raziol Zibulla & Sohn GmbH recomienda el uso de la gama CLF 11 en las siguientes aplicaciones (extraído de: [www.raziol.com](http://www.raziol.com) )

## Anwendung der Raziol CLF 11 Reihe

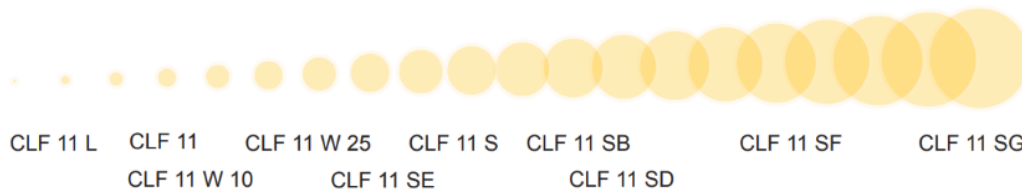
- z.B bei der Herstellung von Elektrokontakten, von Stanz- und Biegeteilen, Federn, Drähten, Uhren, Metallwaren, von Dichtungselementen sowie von weißer Ware und Elementen der Kommunikationstechnik
- für Fertigungsteile geeignet auf denen möglichst wenig Rückstand verbleiben soll
- oftmals können Nachfolgeprozesse wie Kleben und Etikettieren ohne Waschen erfolgen
- Abdeckung eines breiten Leistungsspektrums durch die Zugabe unterschiedlicher leistungssteigernder Zusätze
- in Verbindung mit den Raziol Auftragsystemen wie Rollenbandölnern oder Sprühsystemen ist problemlos ein sparsames, definiertes Beölen mit den Produkten der Raziol CLF 11 Reihe möglich

Sobre el comportamiento de los residuos se puede leer lo siguiente ([www.raziol.com](http://www.raziol.com)):

### Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch



**Se probaron los siguientes aceites:**

- CLF 11 L
- CLF 11
- CLF 11 W 10
- CLF 11 W 25
- CLF 11 SE
- CLF 11 S
- CLF 11 SB
- CLF 11 SD
- CLF 11 SB
- CLF 11 SD
- CLF 11 SF
- CLF 11 SG

**Los criterios de la investigación fueron:**



- Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.
- Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida
- Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial (sistema de referencia)

### 6.3 Raziol CLF 11 L

#### 6.3.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

Para ello, se aplicaron 5 gotas de aceite (aprox. 100 µl) sobre la superficie de acero desengrasada y, después, se dejó correr la cantidad de aceite en un diámetro de unos 70 mm. Este proceso tardó unos 5 minutos. Independientemente de una posible desviación del volumen de aceite de 100 µl, la desviación del diámetro de 70 mm y la cantidad de aceite que se haya evaporado durante la aplicación en 5 minutos, el espesor de la capa de aceite calculado es de aproximadamente 25 µm. El tiempo de evaporación  $T_v$  determinado con los sensores, es decir, el tiempo durante el cual se evaporaron los componentes volátiles del aceite, fue de 72 minutos. La cantidad de residuos de aceite, es decir la cantidad de aceite que aún se encontraba sobre la superficie de acero después de finalizar este tiempo fue el 1 % de la cantidad de aceite originalmente aplicada:

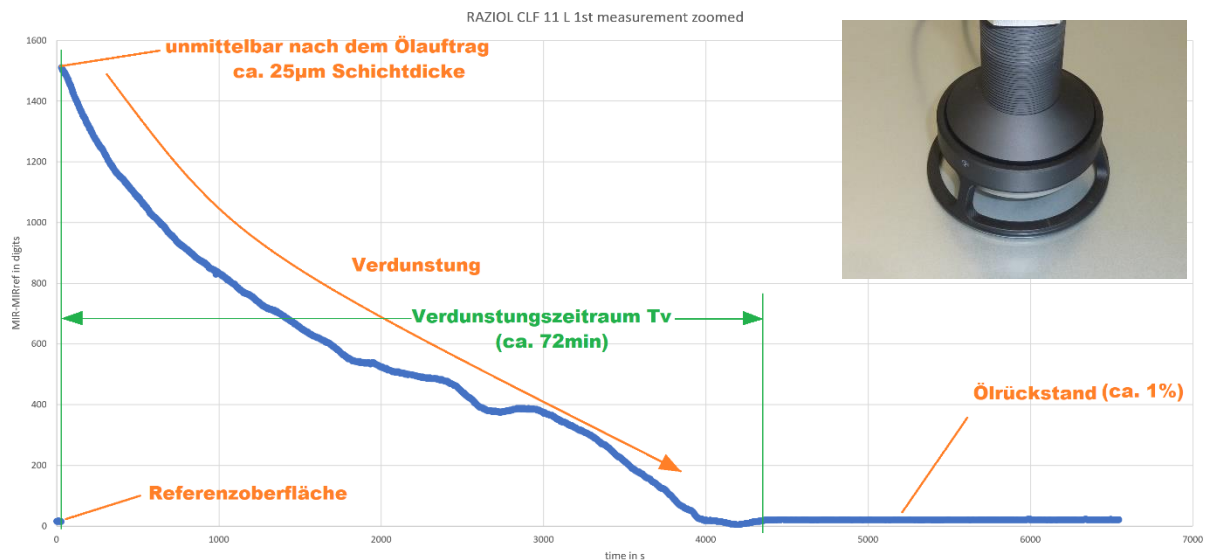
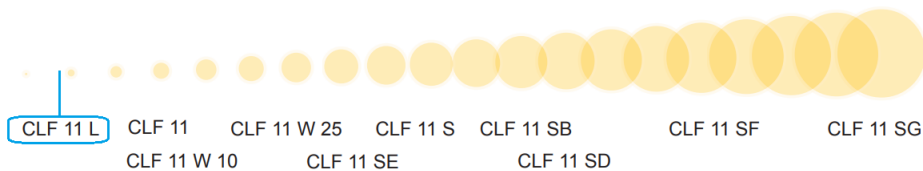
- Tiempo de evaporación: 72 min.
- Cantidad de residuos de aceite: 1 %

## CLF 11 L

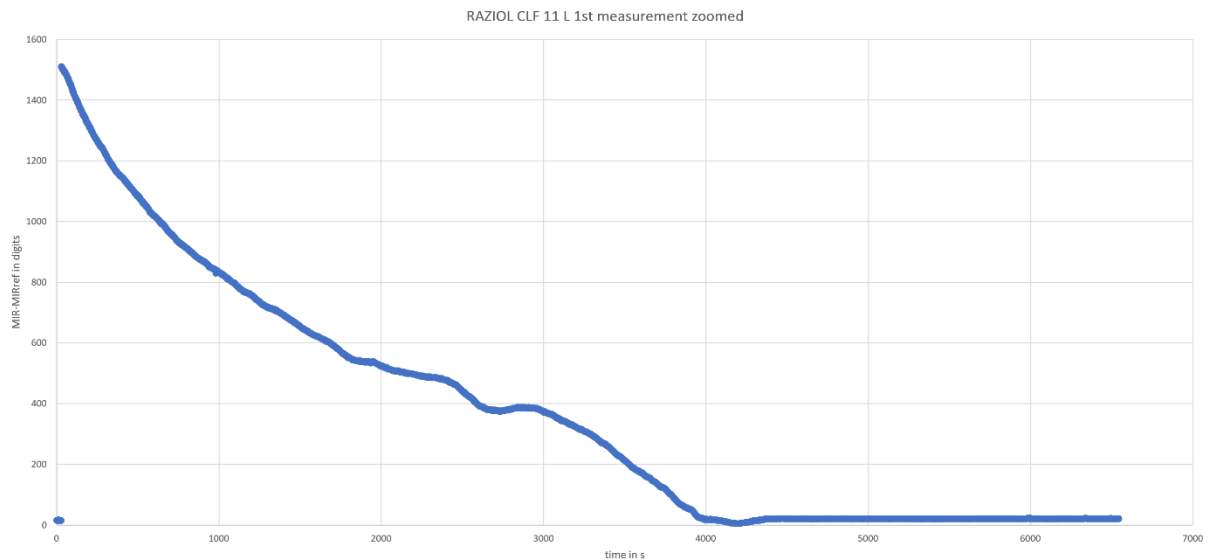
### Rückstandsverhalten

gering < <

> > hoch

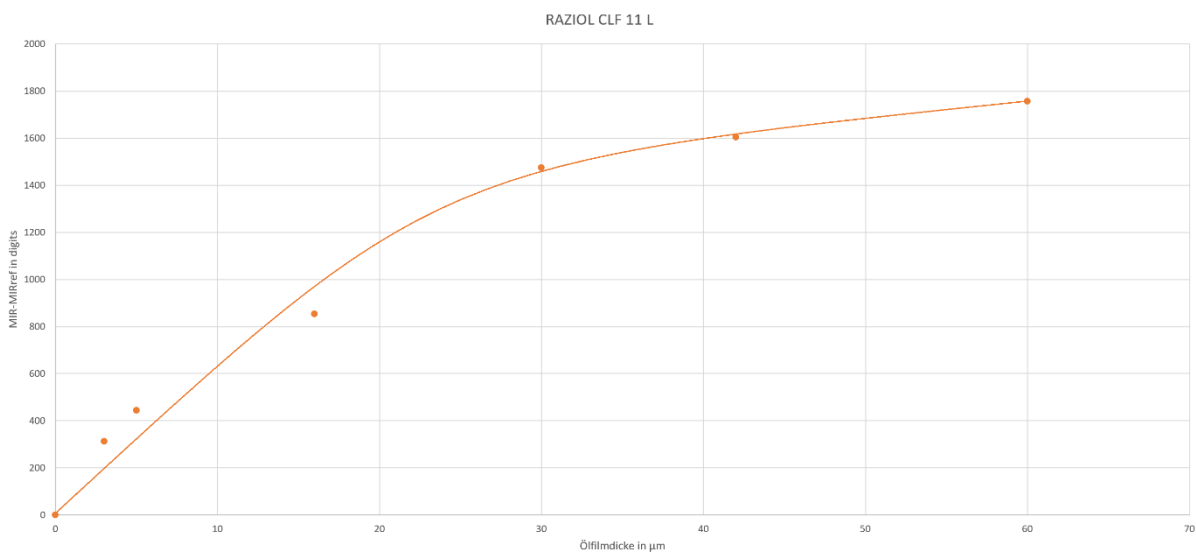


Schichtdicke	MIR	MIR-MIRref	ROTE TINTE	Anzahl	Ölfleck	Schichtdicke	Ölmenge
in $\mu\text{m}$	NORM in digits	deltaNORM in digits	in mN/m	Tropfen	Durchmesser in mm	in $\mu\text{m}$	in $\mu\text{l}$
3	2518	312		0,5	70	3	10
5	2650	444		1	75	5	20
16	3060	854		3	70	16	60
30	3680	1474		5	65	30	100
42	3810	1604		7	65	42	140
60	3963	1757		10	65	60	200
0	2206	0		0		0	0



### 6.3.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida

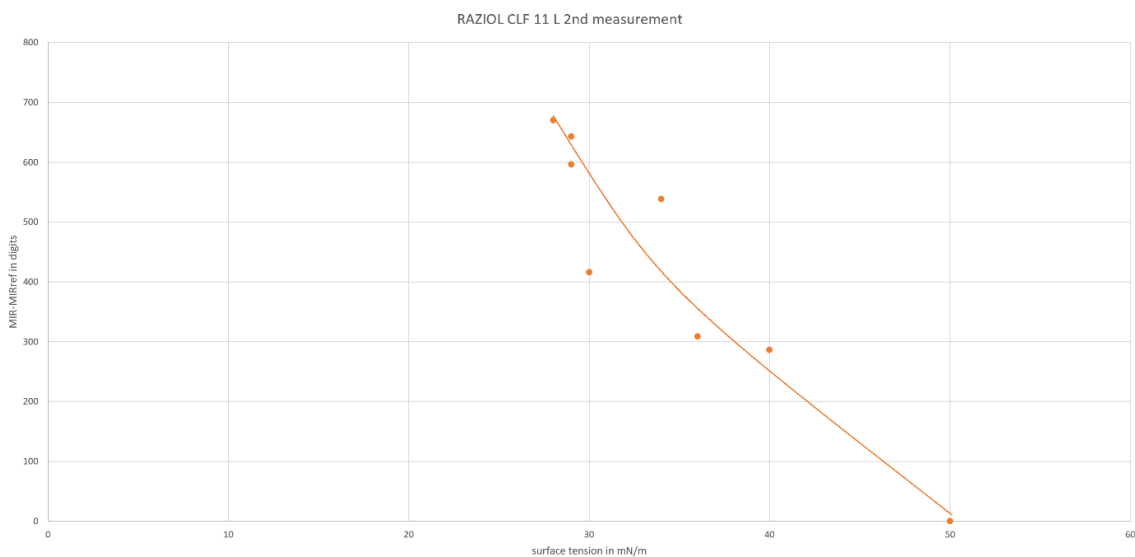
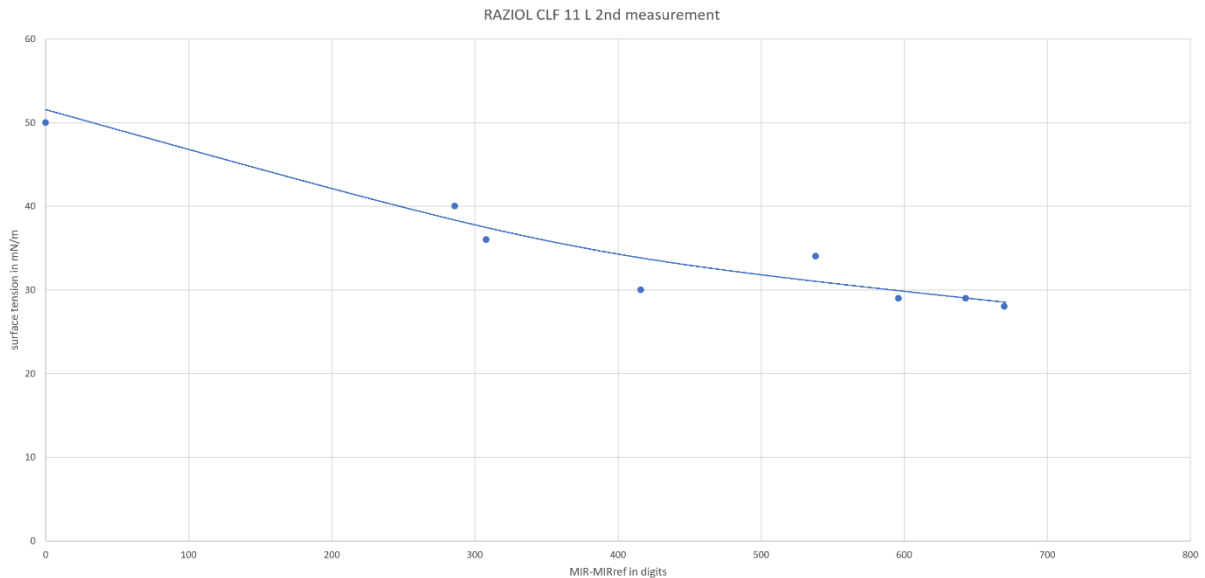
Se aplicaron gotas de aceite sobre una superficie de acero desengrasada y, después, se dejaron correr o, si el número de gotas era bajo, también se extendió la cantidad de aceite con una espátula de plástico para que la cantidad de aceite se distribuyera sobre una superficie con un diámetro de 70 mm.



### 6.3.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial

Para ello, se aplicó una determinada cantidad de gotas de aceite sobre una superficie de acero desengrasada y, después, se frotó la cantidad de aceite con un paño sin pelusa varias veces. A continuación, se realizó primero el cálculo del valor medido mediante el sensor SPECTRO-M, seguido de la determinación de la tensión superficial usando la tinta de prueba roja.

ROTE TINTE in mN/m	MIR NORM in digits	MIR-MIRref deltaNORM in digits	ROTE TINTE in mN/m
29	2637	643	29
28	2664	670	28
29	2590	596	29
30	2410	416	30
36	2302	308	36
40	2280	286	40
34	2532	538	34
50	1994	0	50



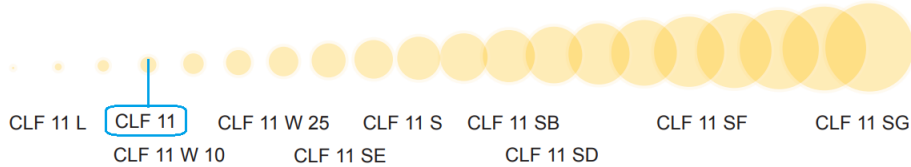
## 6.4 Raziol CLF 11

### CLF 11

#### Rückstandsverhalten

gering < <

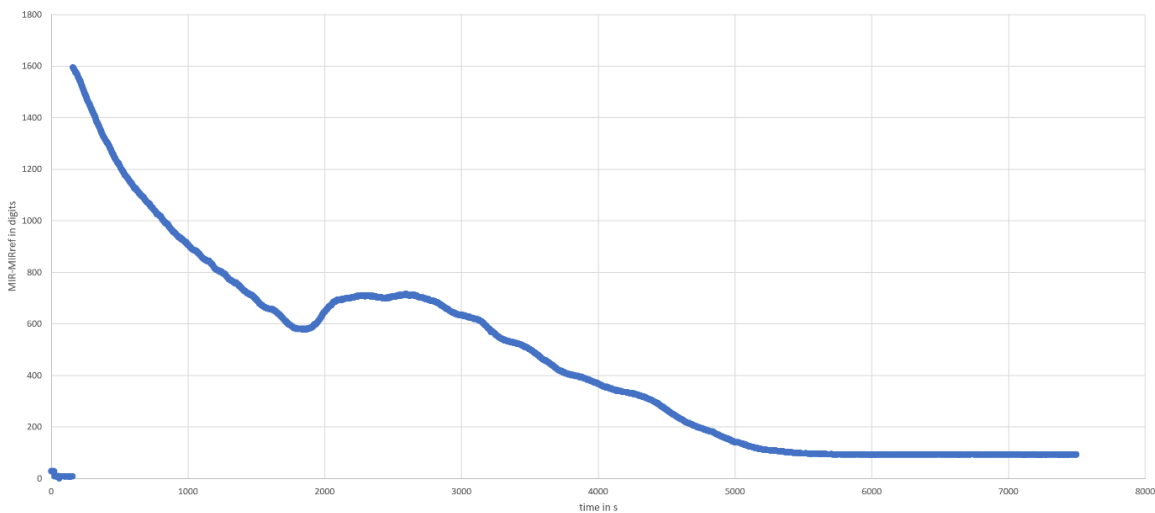
> > hoch



#### 6.4.1 *Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.*

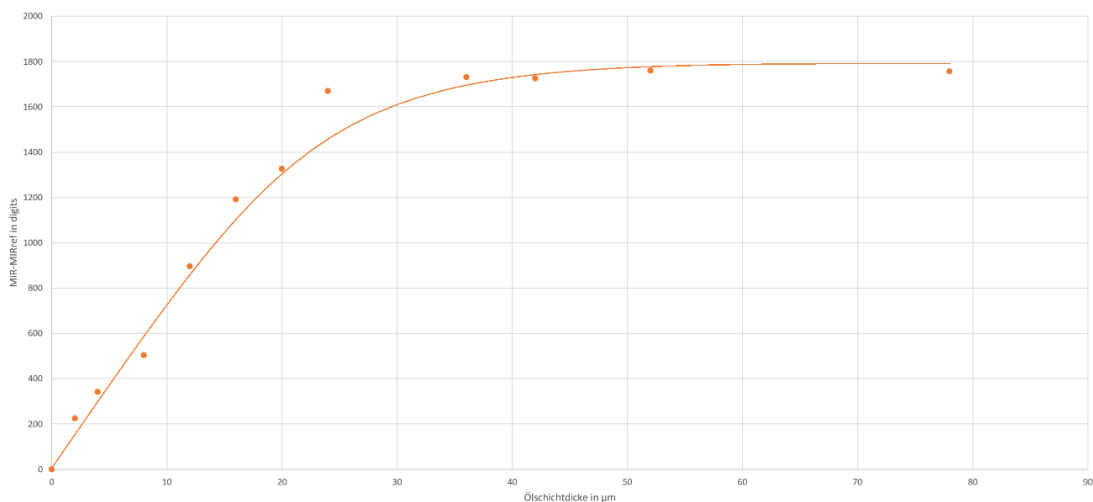
- Tiempo de evaporación: aprox. 90 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 6 %

RAZIOL CLF 11 1st measurement zoomed

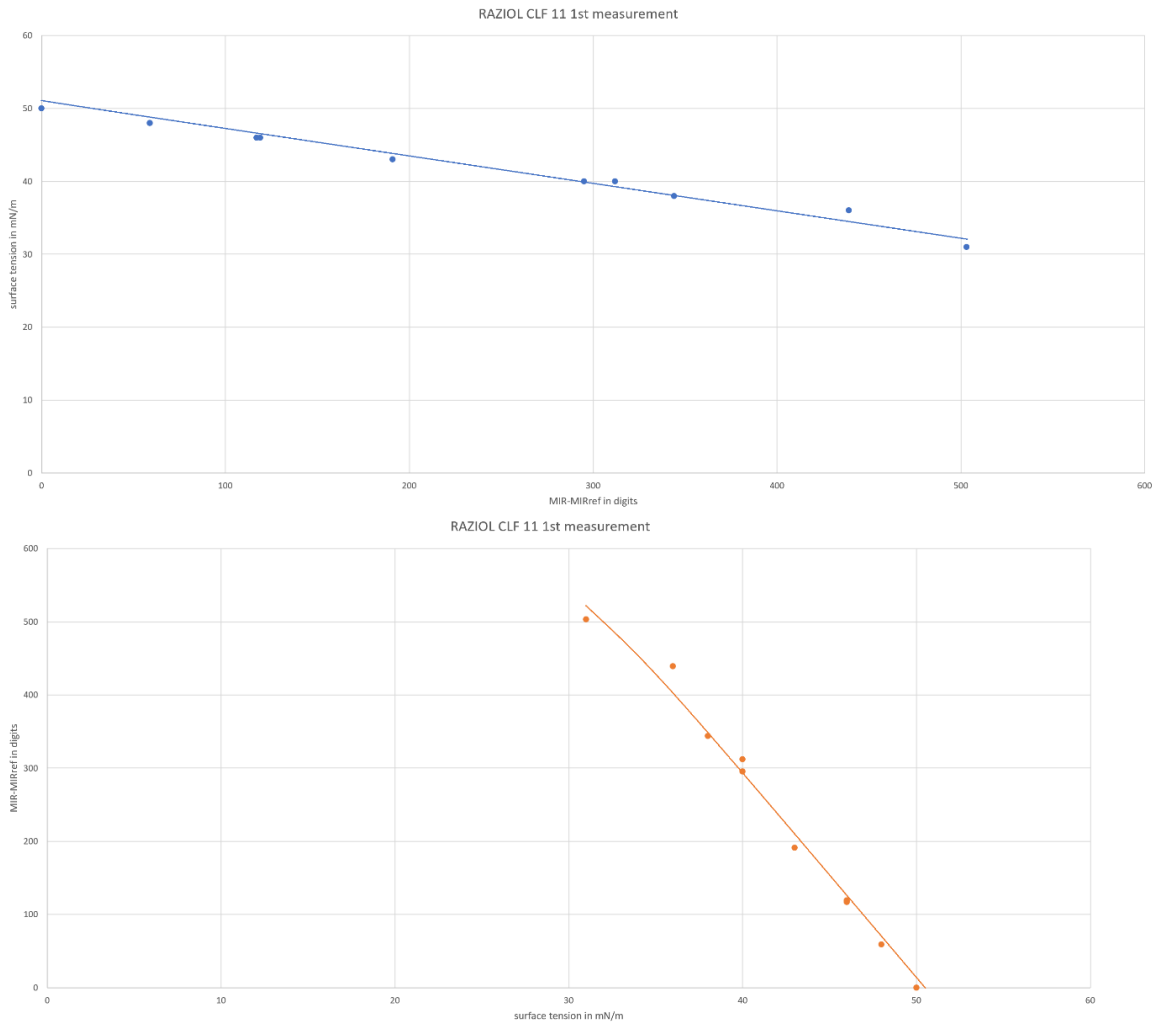


#### 6.4.2 *Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida*

RAZIOL CLF 11



### 6.4.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial



## 6.5 Raziol CLF 11 W 10

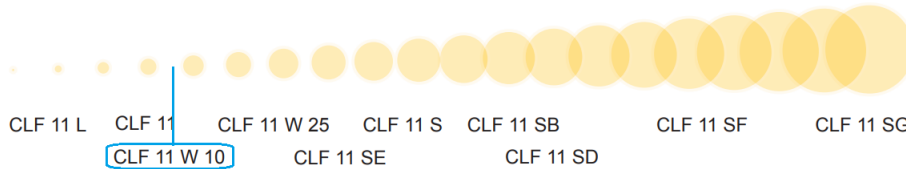
### 6.5.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 W 10

### Rückstandsverhalten

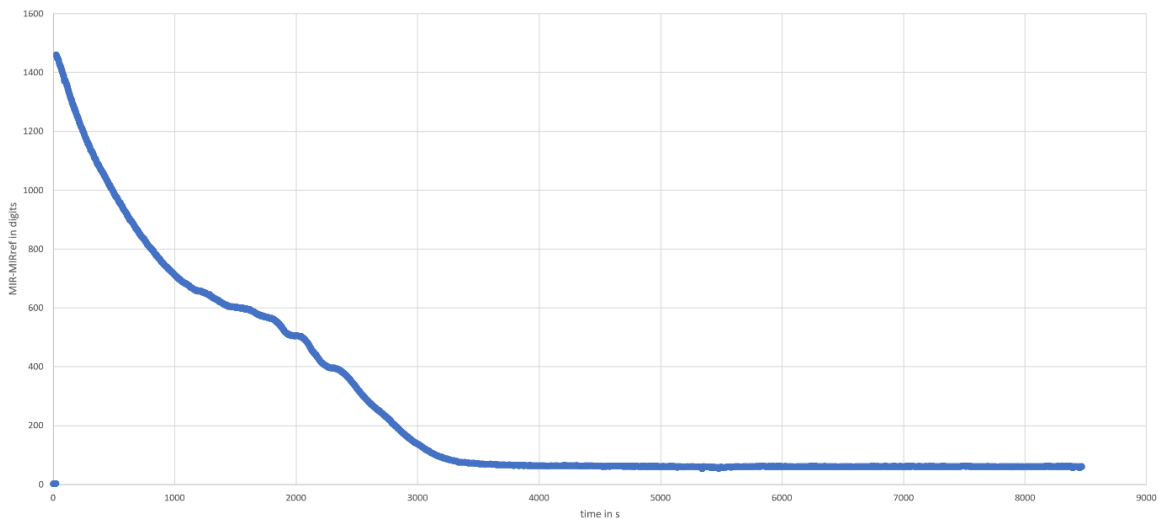
gering < <

> > hoch

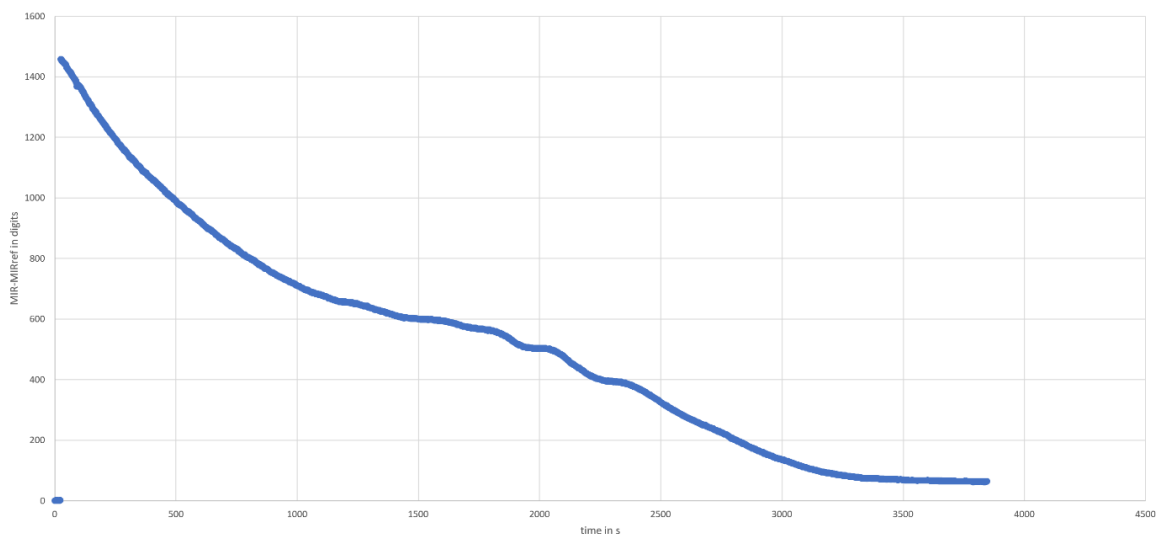


- Tiempo de evaporación: aprox. 62 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 5 %

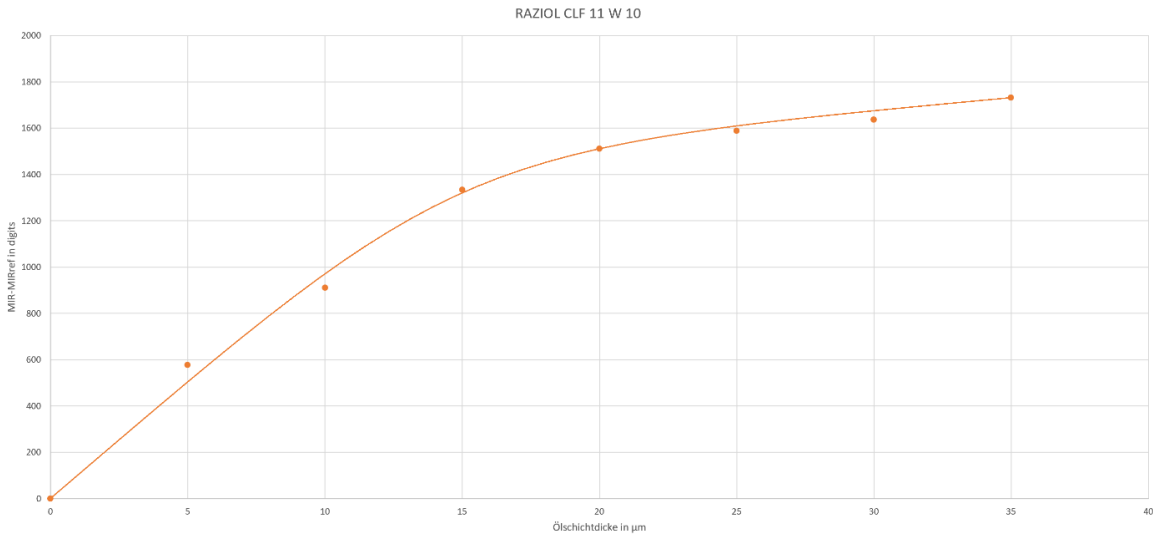
RAZIOL CLF 11 W 10 1st measurement



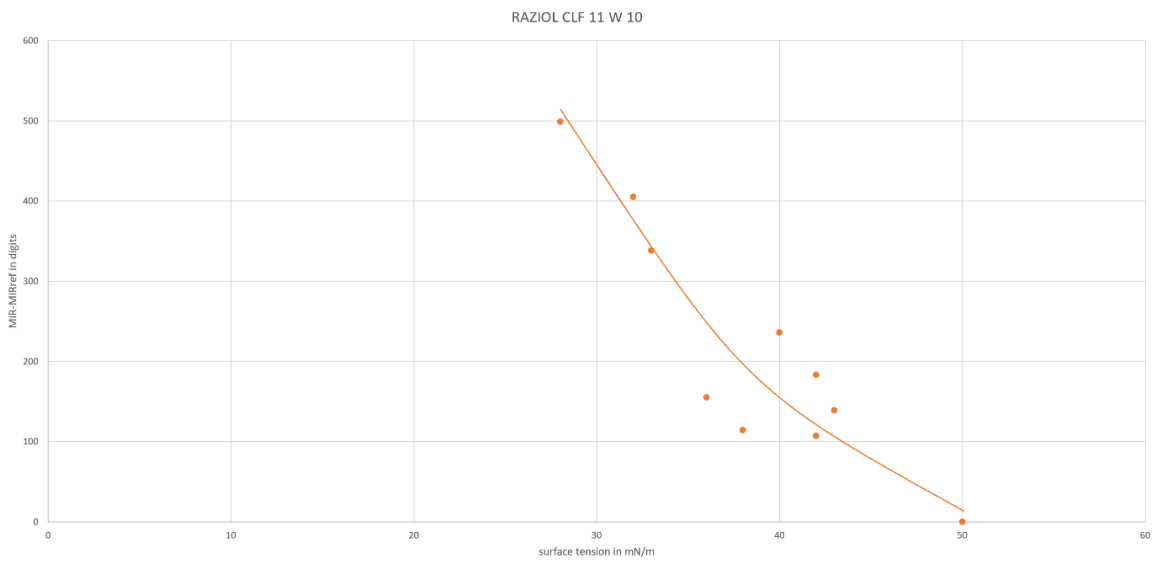
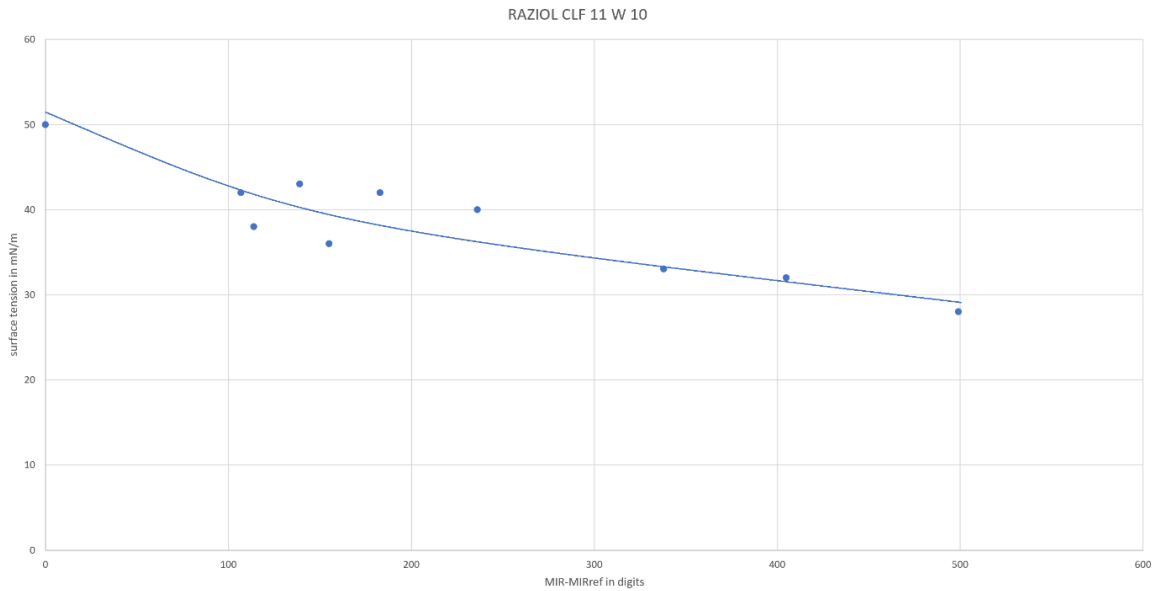
RAZIOL CLF 11 W 10 1st measurement zoomed



**6.5.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida**



**6.5.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial**





## 6.6 Raziol CLF 11 W 25

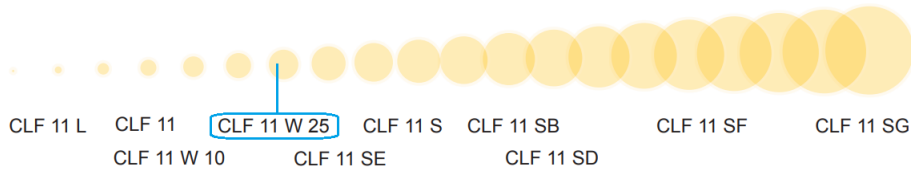
### 6.6.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 W 25

### Rückstandsverhalten

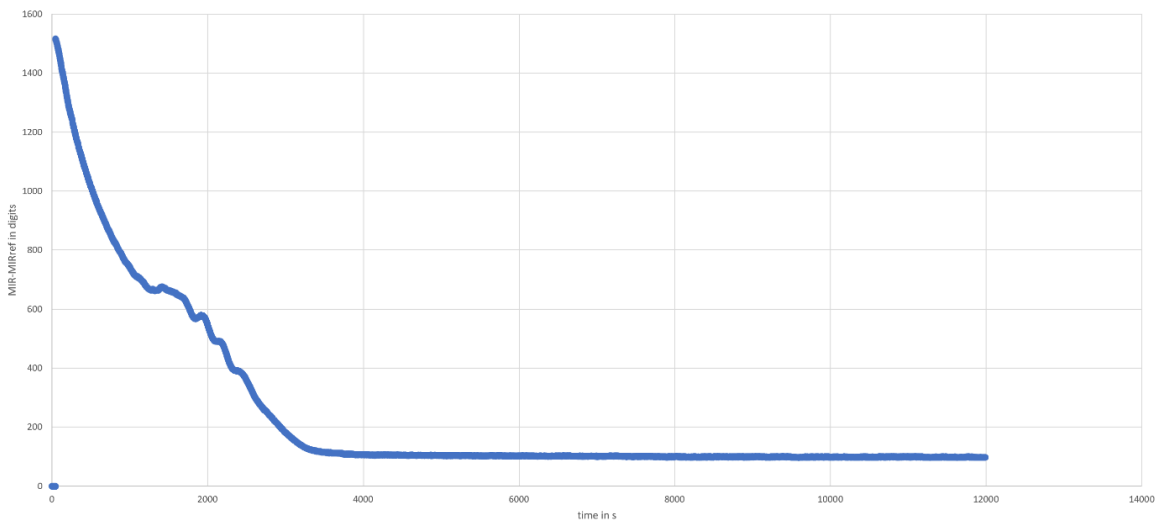
gering < <

> > hoch

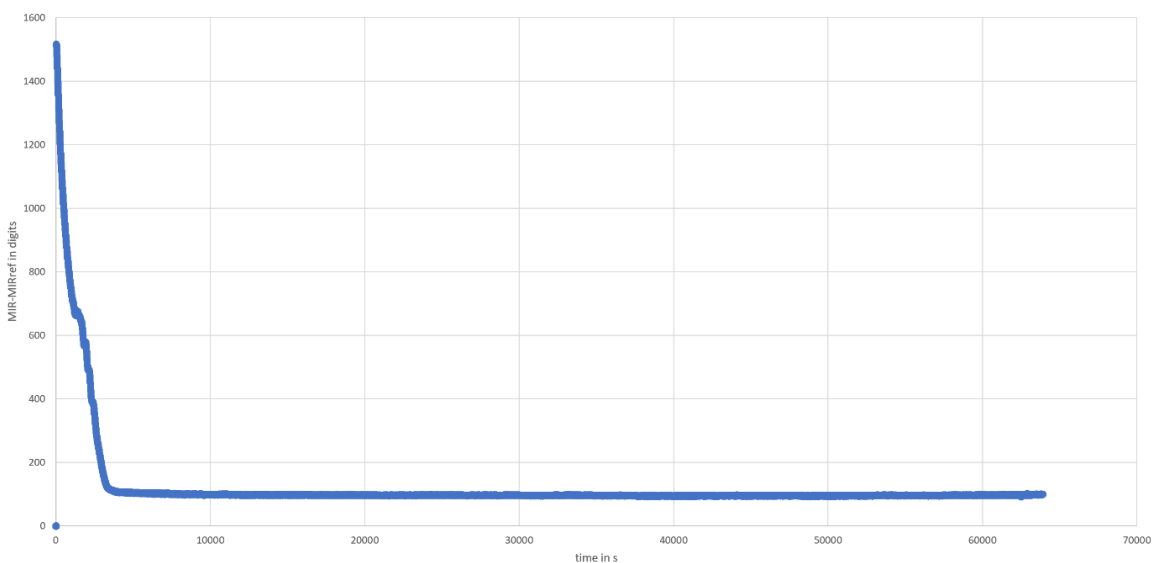


- Tiempo de evaporación: aprox. 58 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 7%

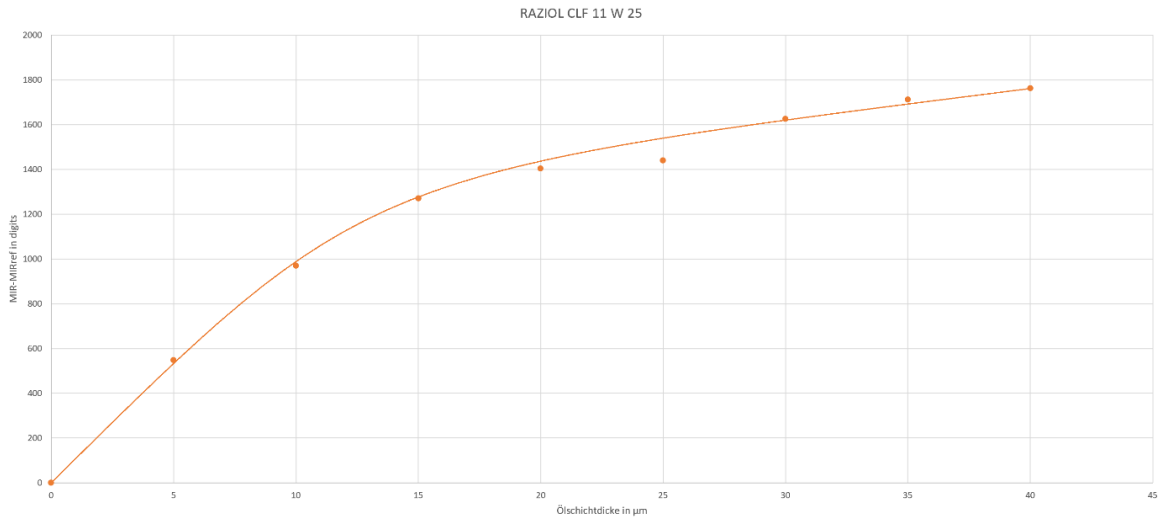
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement zoomed



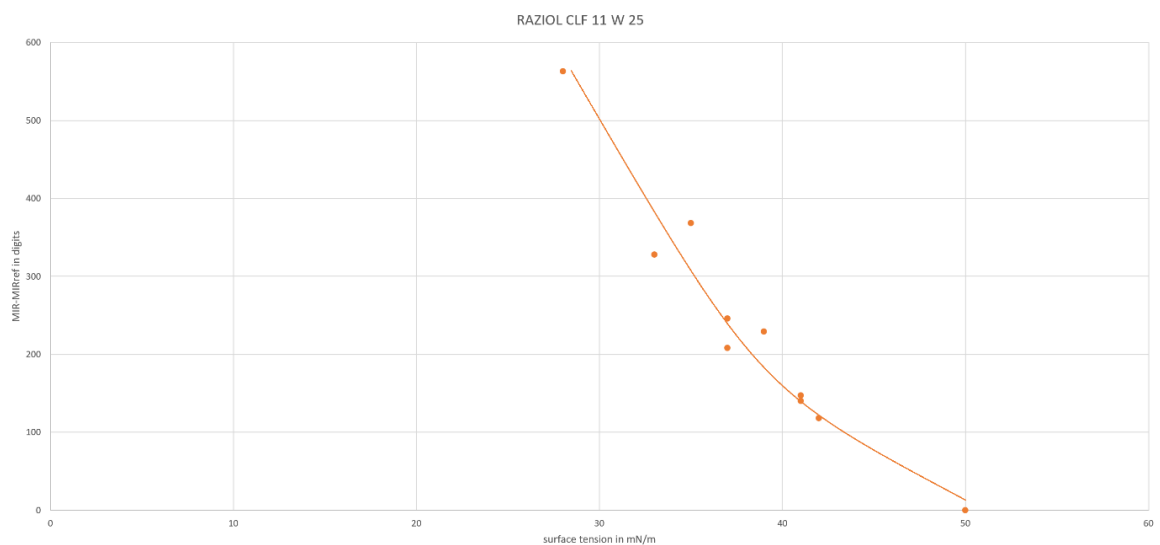
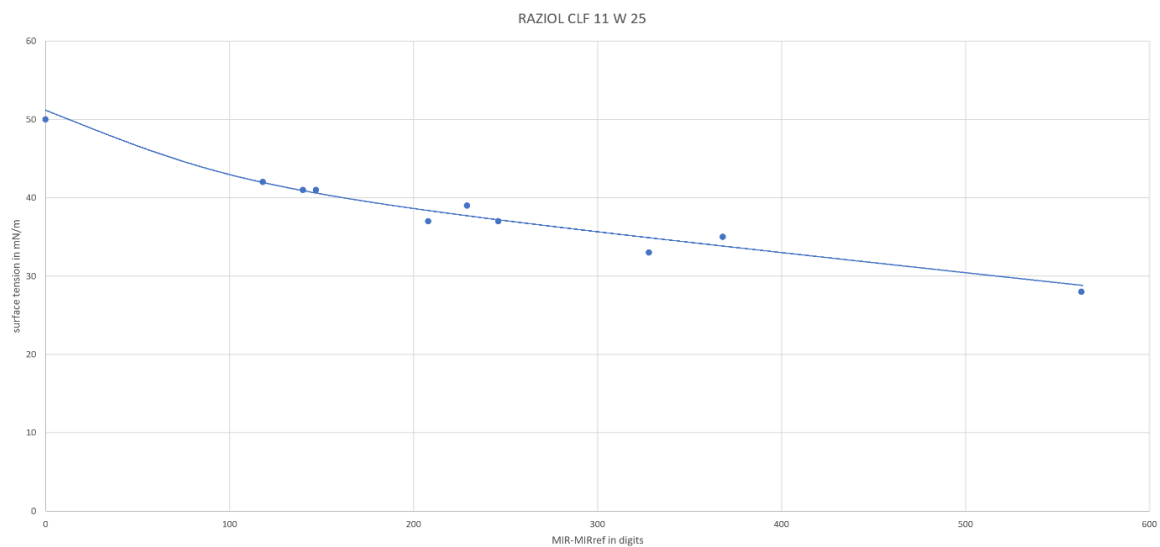
RAZIOL CLF 11 W 25 2nd measurement



### 6.6.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida



### 6.6.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial



## 6.7 Raziol CLF 11 SE

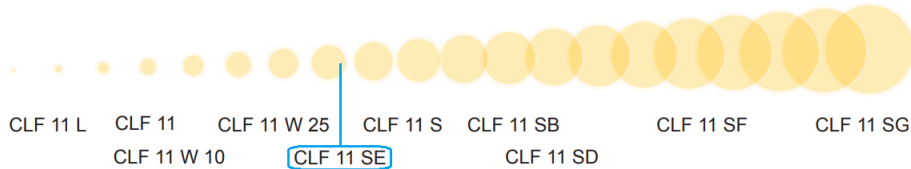
### 6.7.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 SE

### Rückstandsverhalten

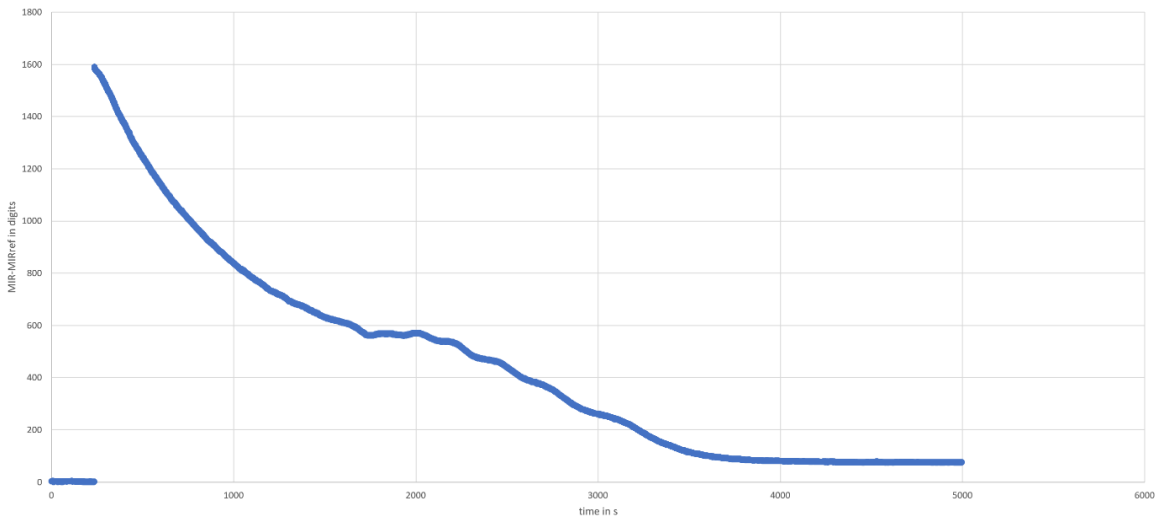
gering < <

> > hoch

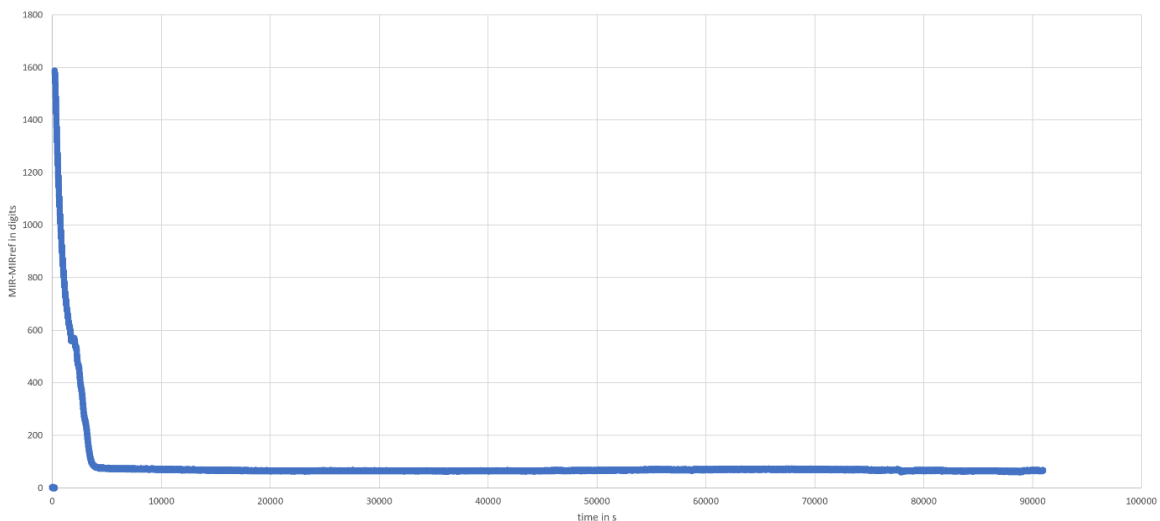


- Tiempo de evaporación: aprox. 60 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 5 %

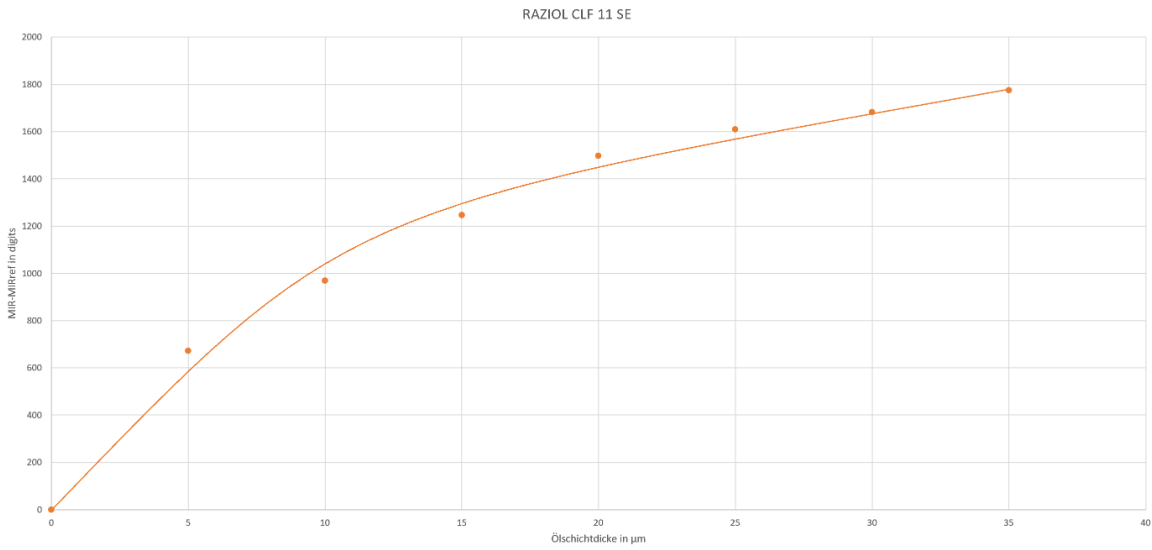
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement zoomed



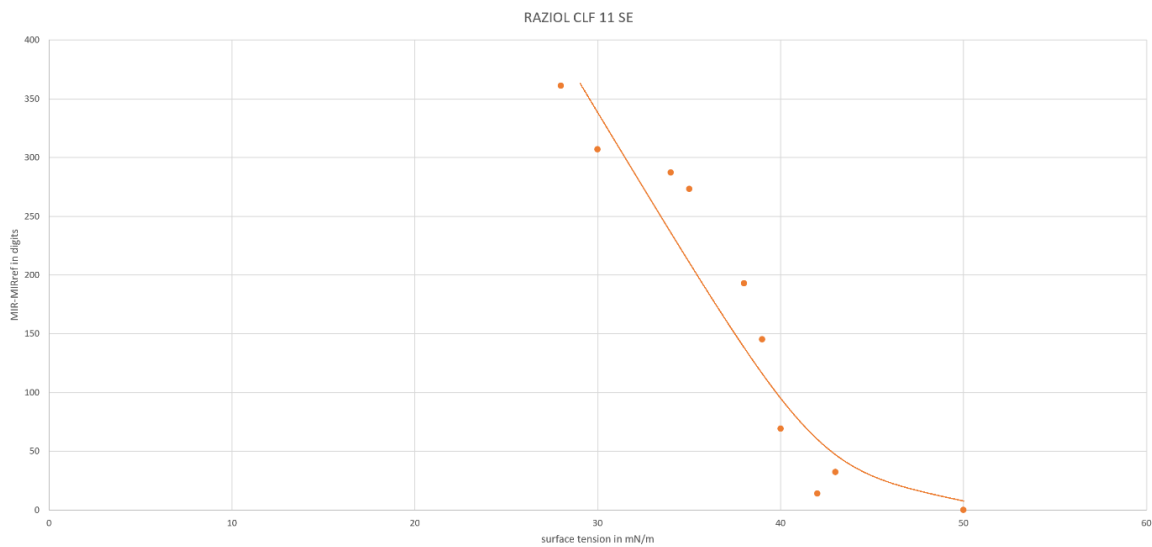
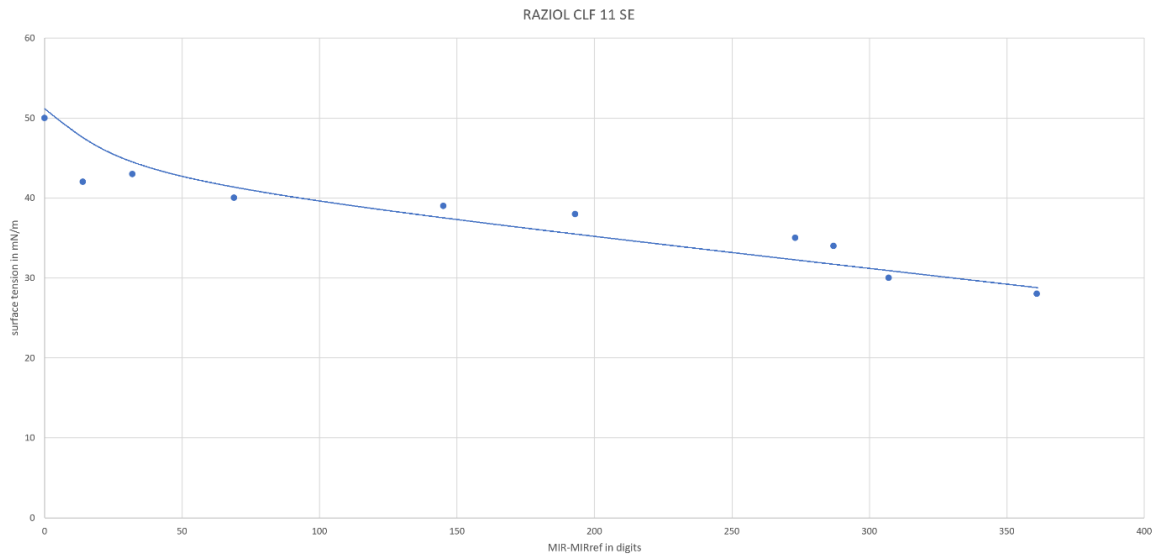
RAZIOL CLF 11 SE 1st measurement



### 6.7.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida



### 6.7.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial



## 6.8 Raziol CLF 11 S

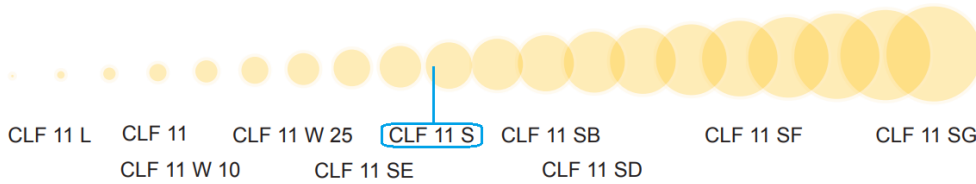
### 6.8.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

# CLF 11 S

## Rückstandsverhalten

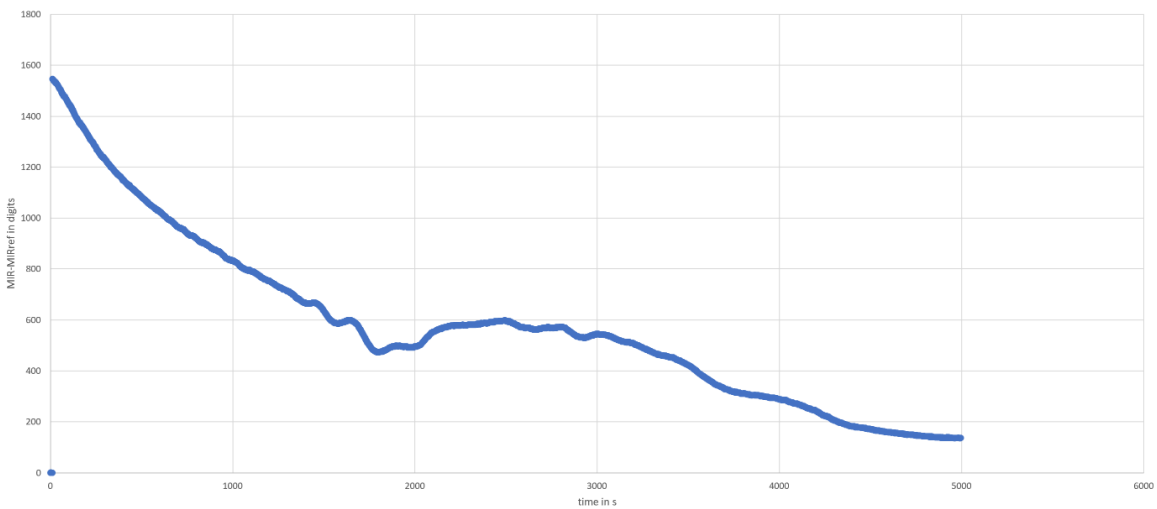
gering < <

> > hoch

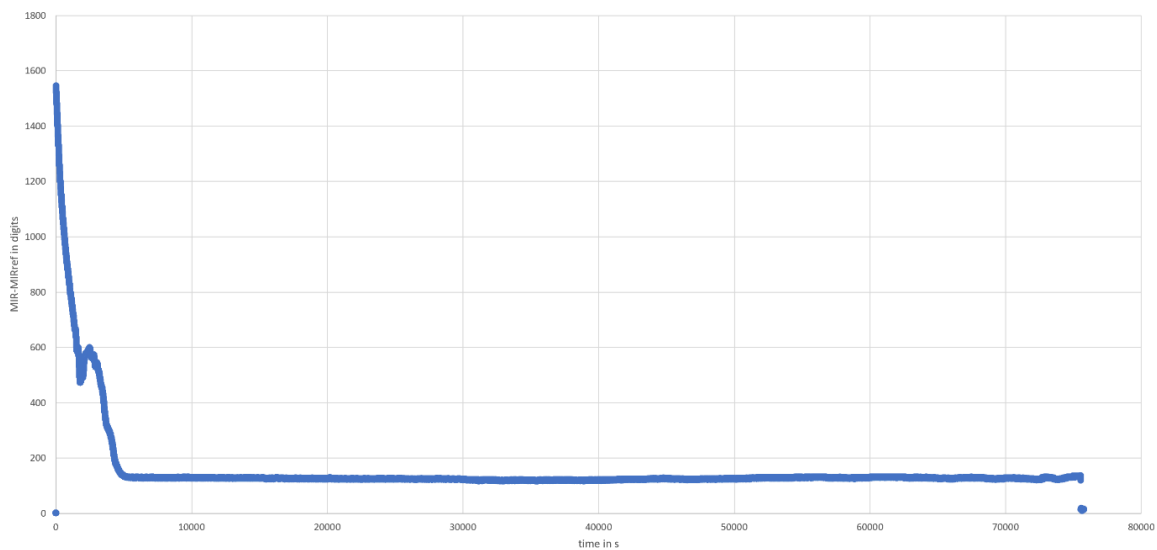


- Tiempo de evaporación: aprox. 83 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 10%

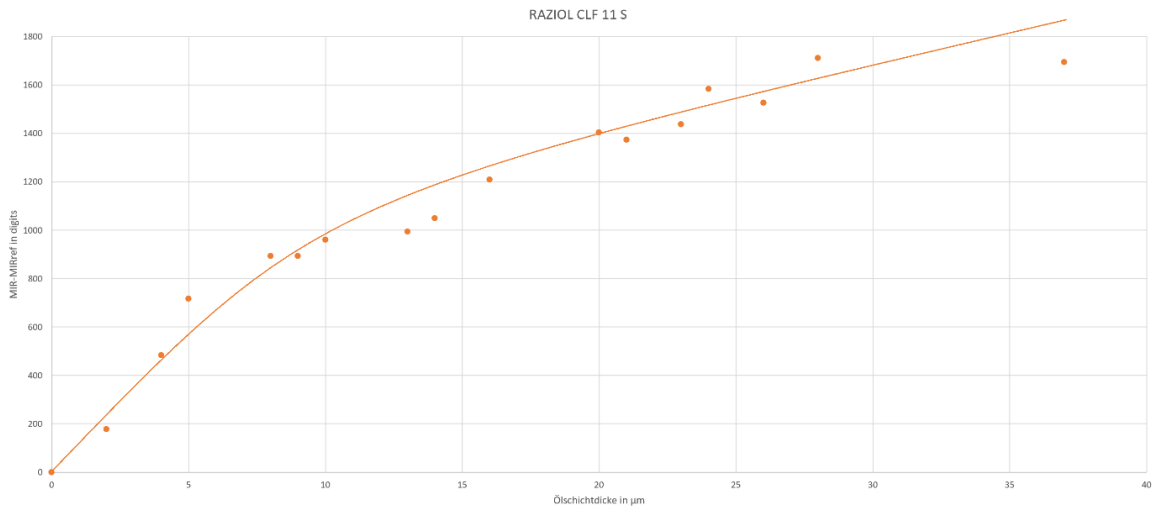
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement zoomed



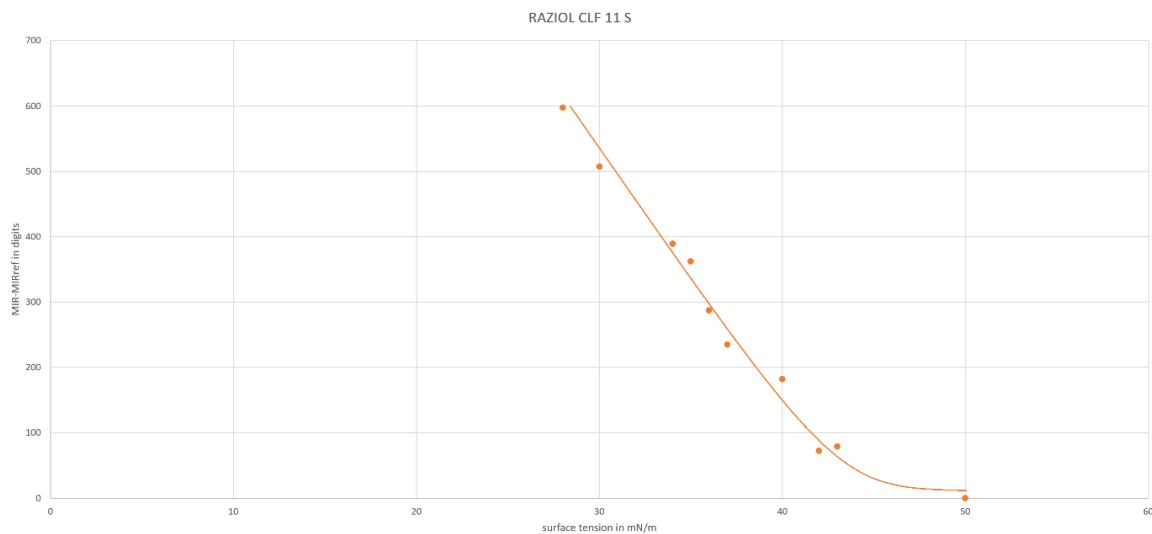
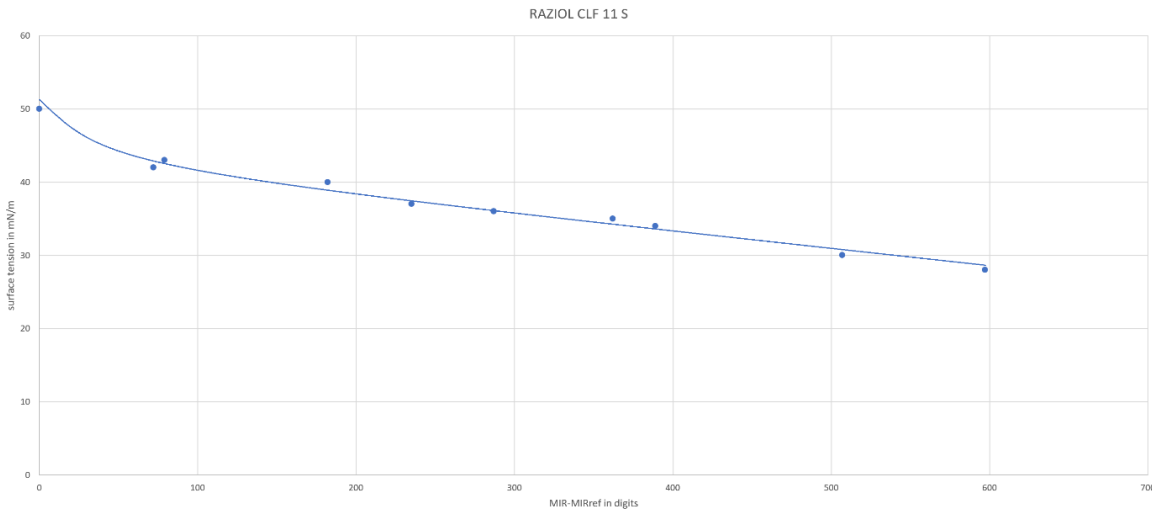
RAZIOL CLF 11 S 1st measurement



### 6.8.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida



### 6.8.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial



## 6.9 Raziol CLF 11 SB

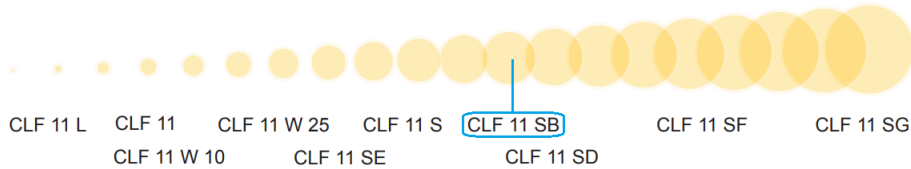
### 6.9.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 SB

### Rückstandsverhalten

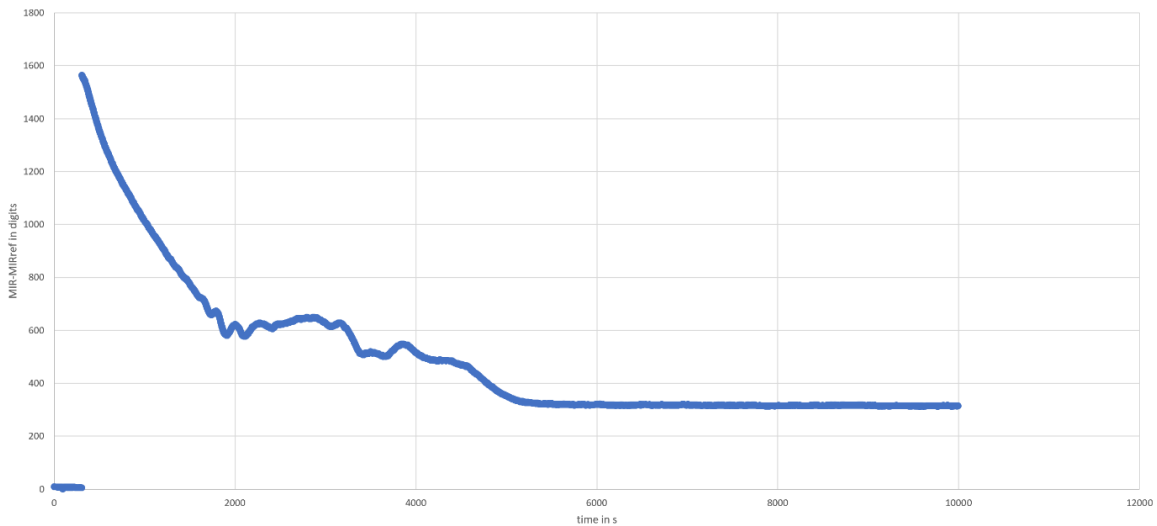
gering < <

> > hoch

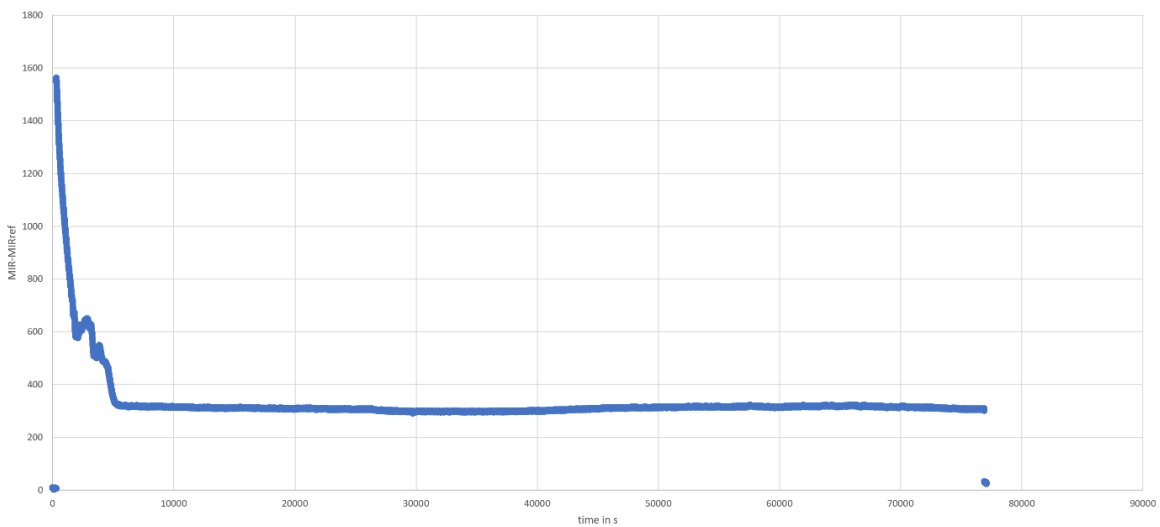


- Tiempo de evaporación: aprox. 72 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 21%

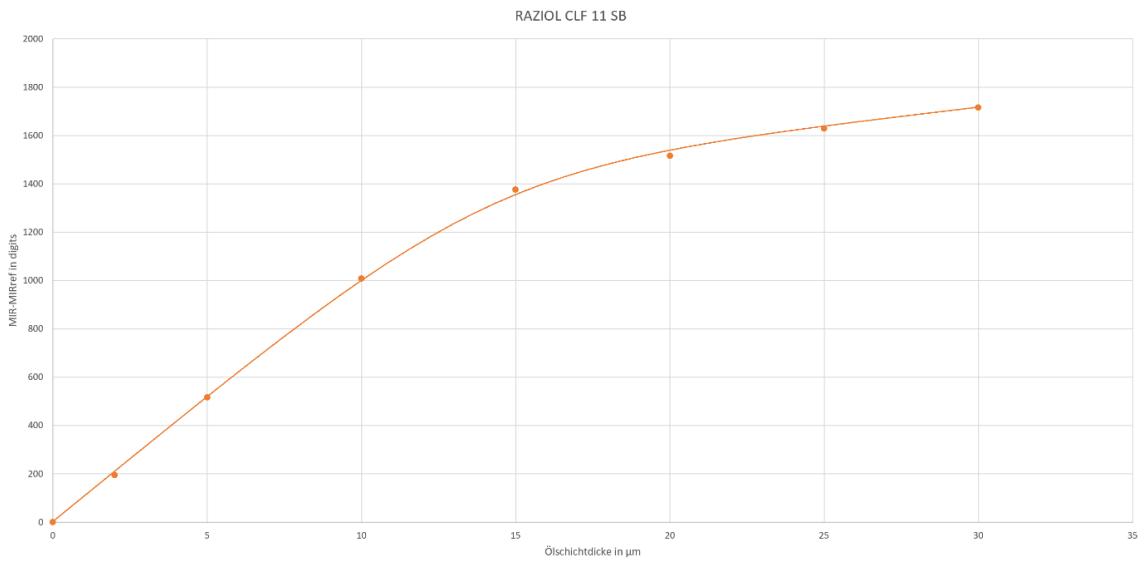
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement zoomed



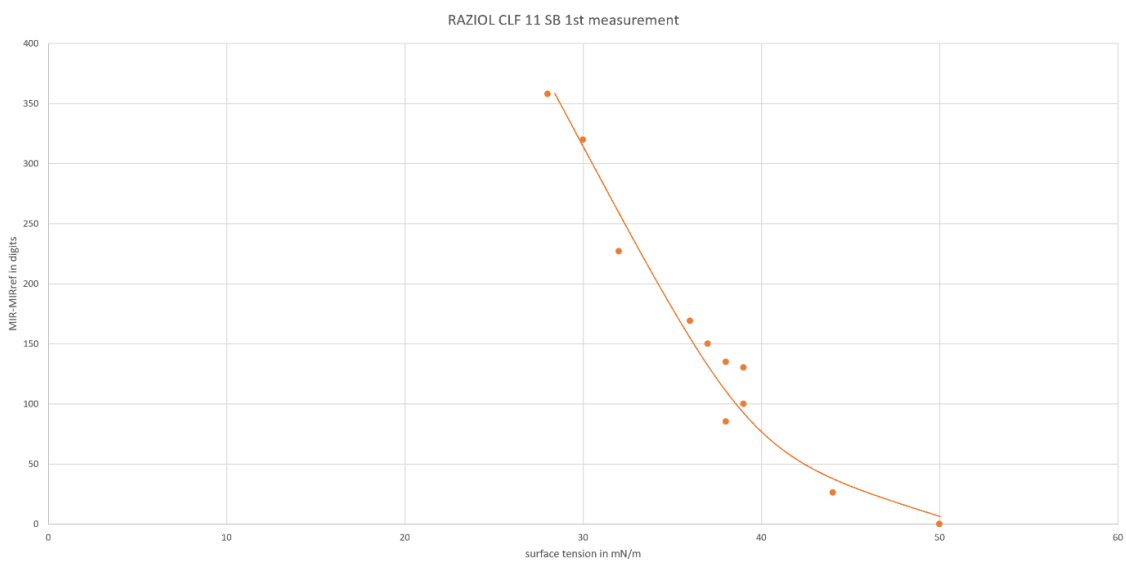
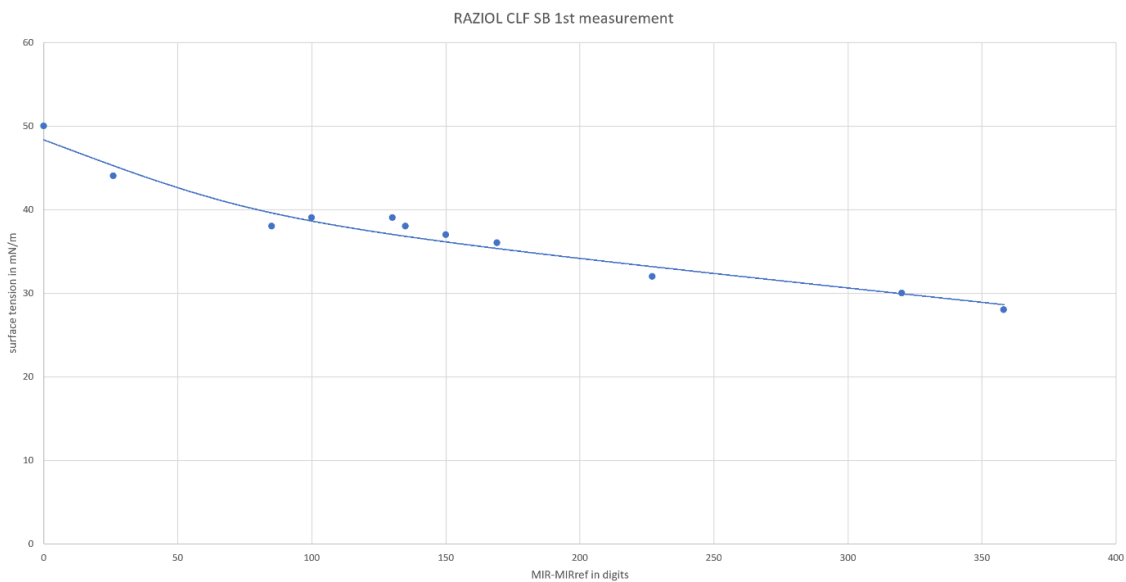
RAZIOL CLF 11 SB 1st measurement



### 6.9.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida



### 6.9.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial





## 6.10 Raziol CLF 11 SD

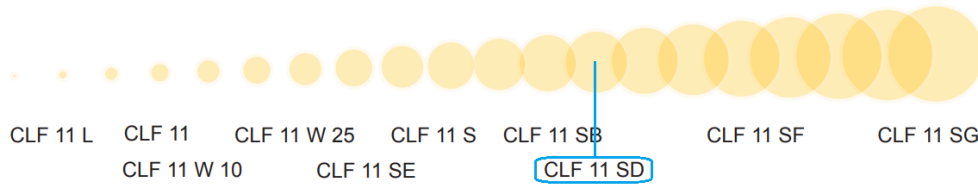
### 6.10.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 SD

### Rückstandsverhalten

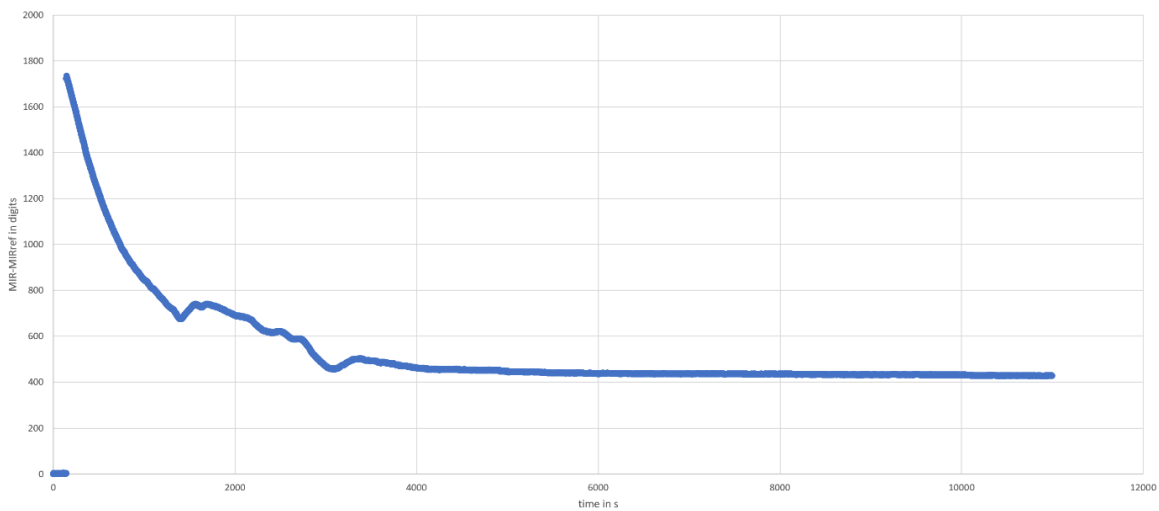
gering < <

> > hoch

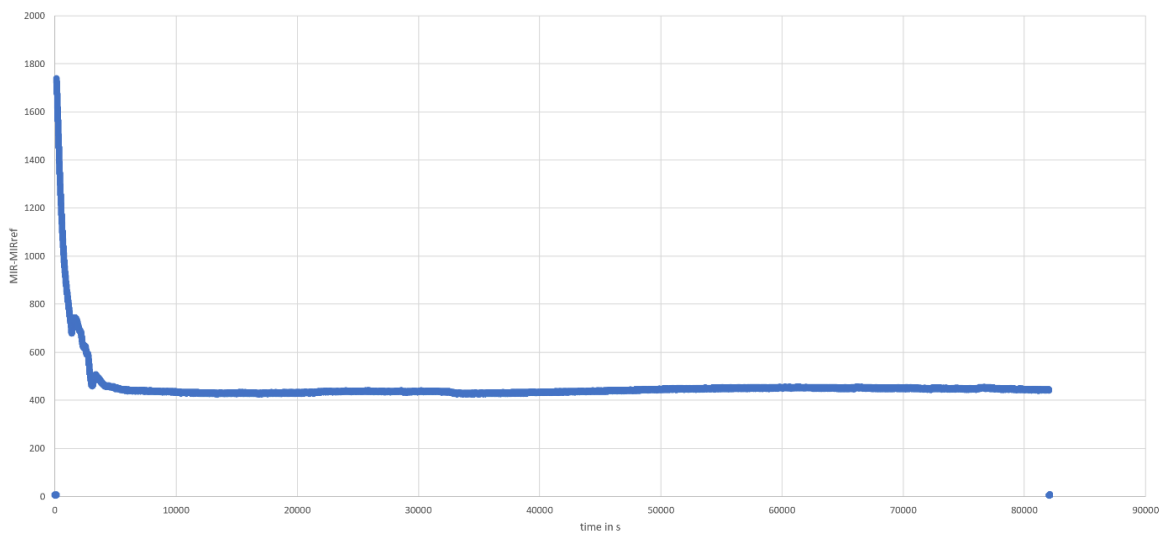


- Tiempo de evaporación: aprox. 76 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 24%

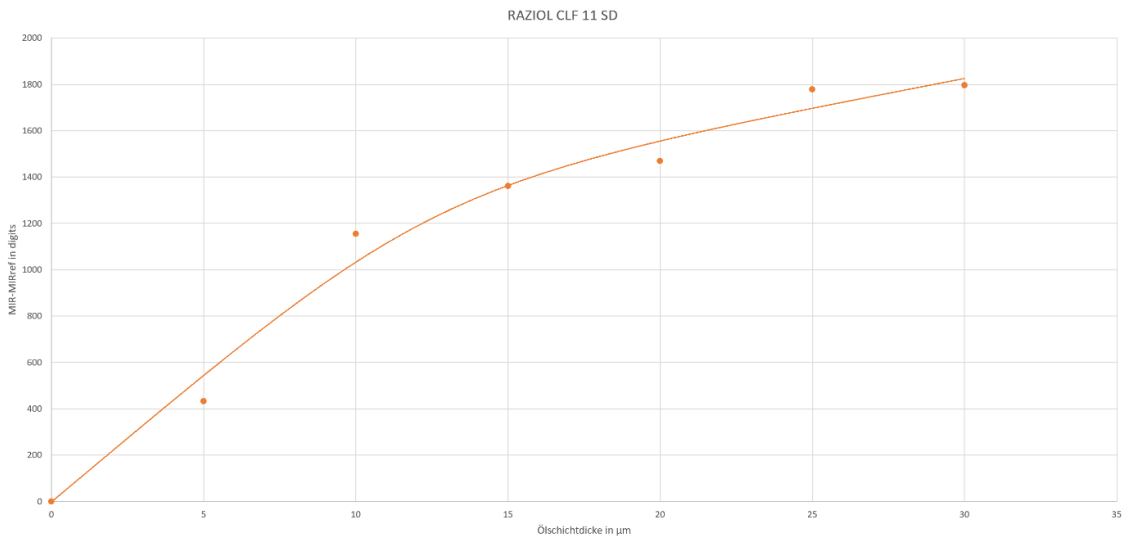
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement zoomed



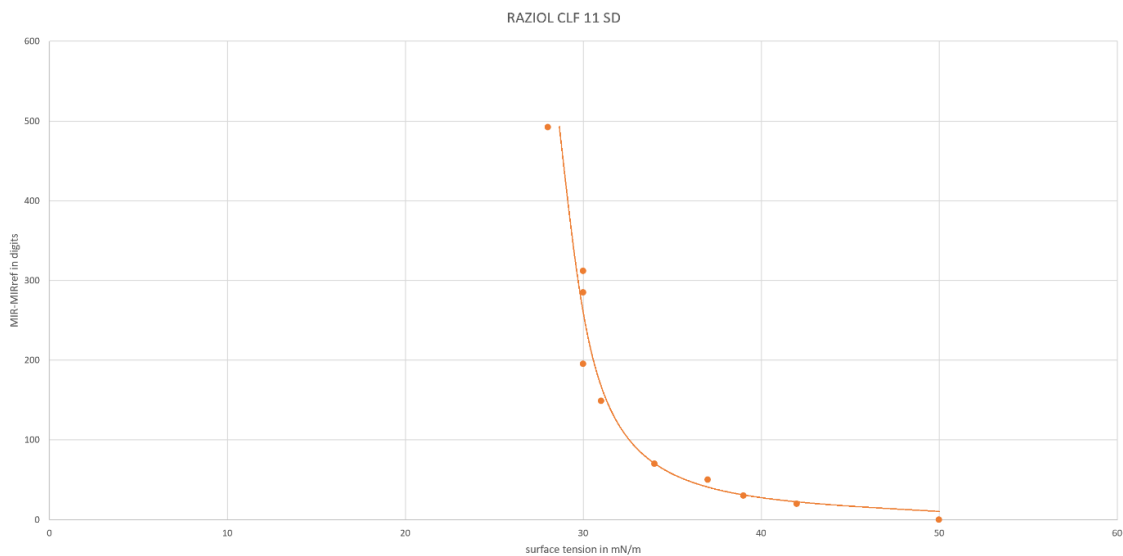
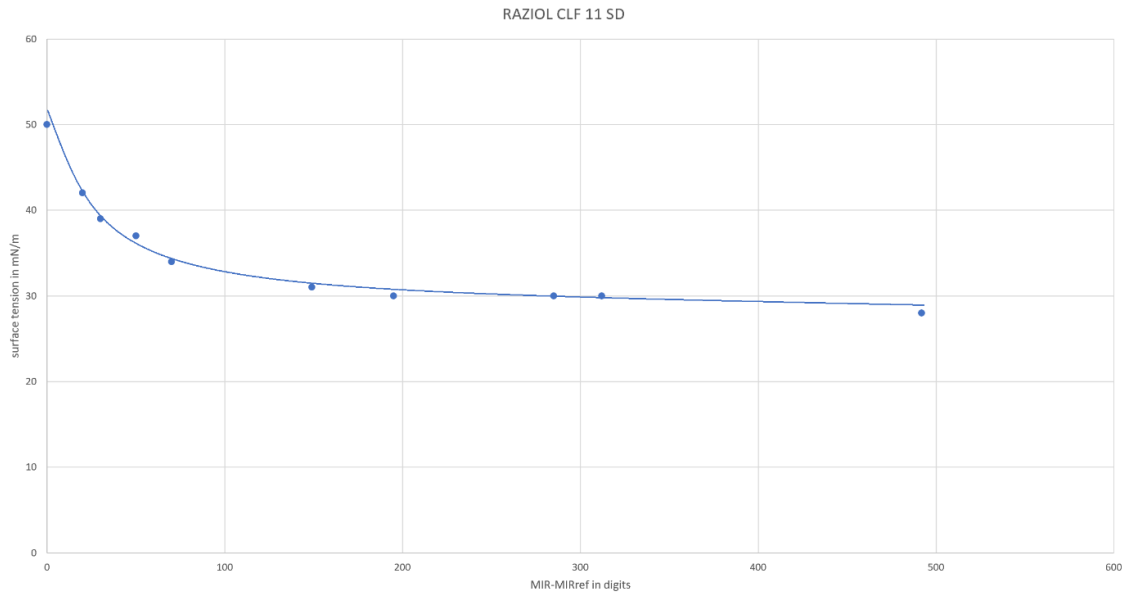
RAZIOL CLF 11 SD 1st measurement



### 6.10.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida



### 6.10.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial



## 6.11 Raziol CLF 11 SF

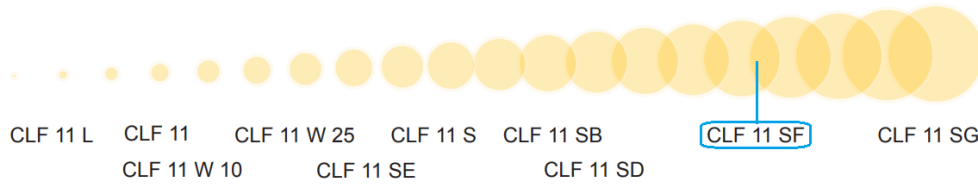
### 6.11.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

## CLF 11 SF

### Rückstandsverhalten

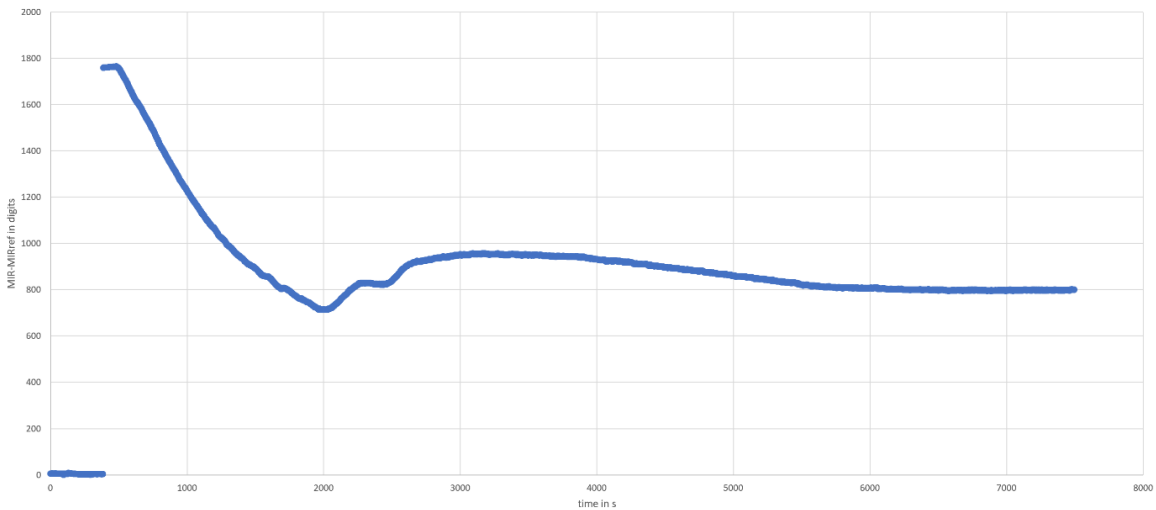
gering < <

> > hoch

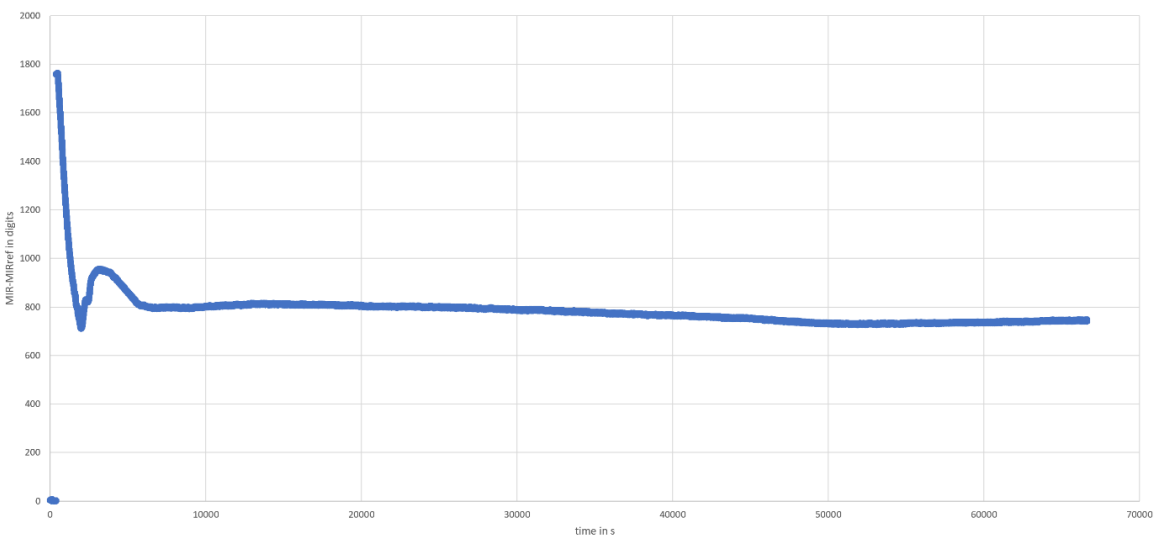


- Tiempo de evaporación: aprox. 83 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 45%

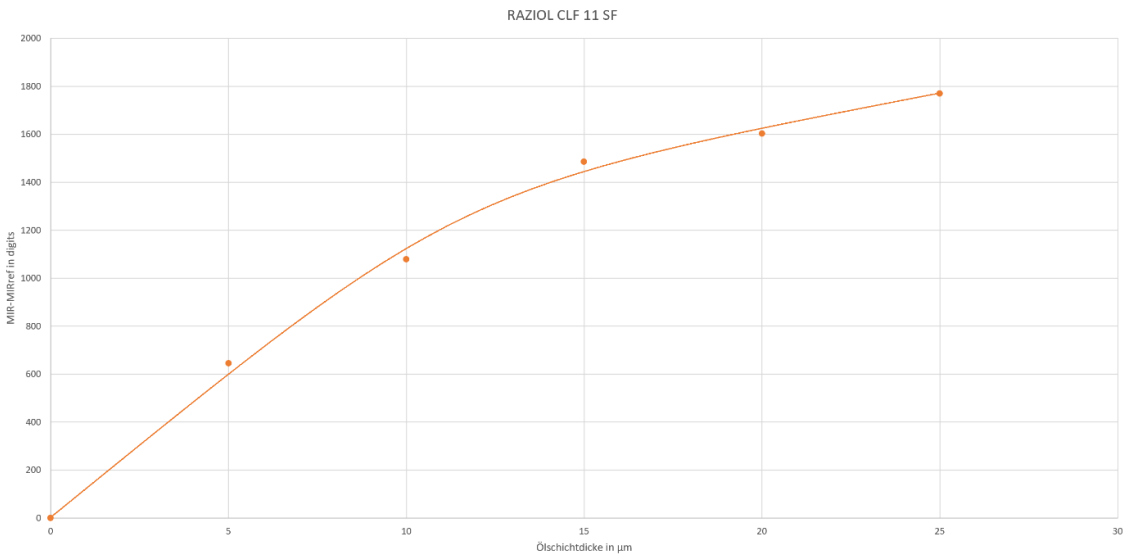
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement zoomed



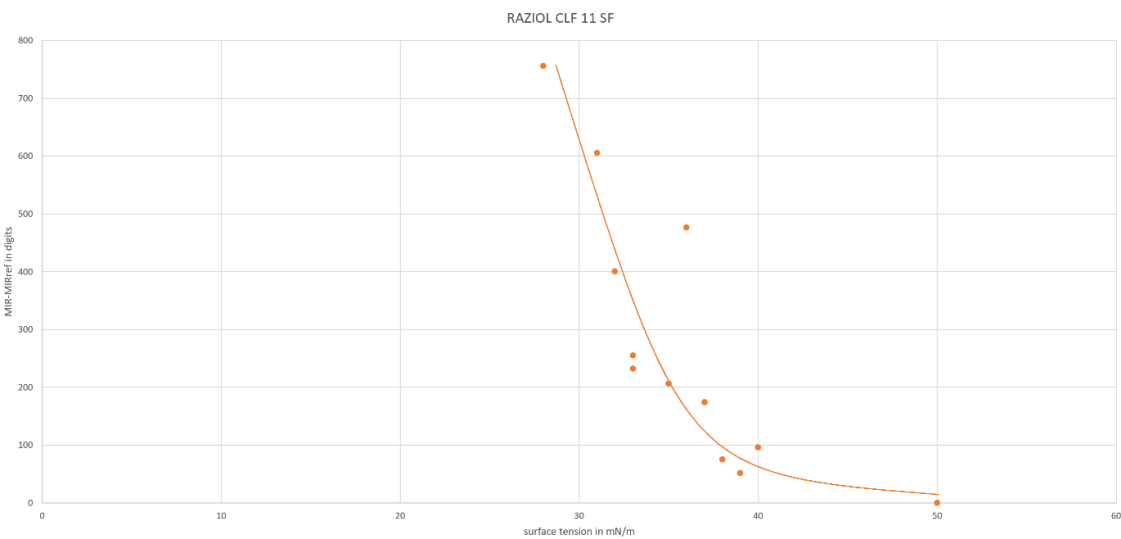
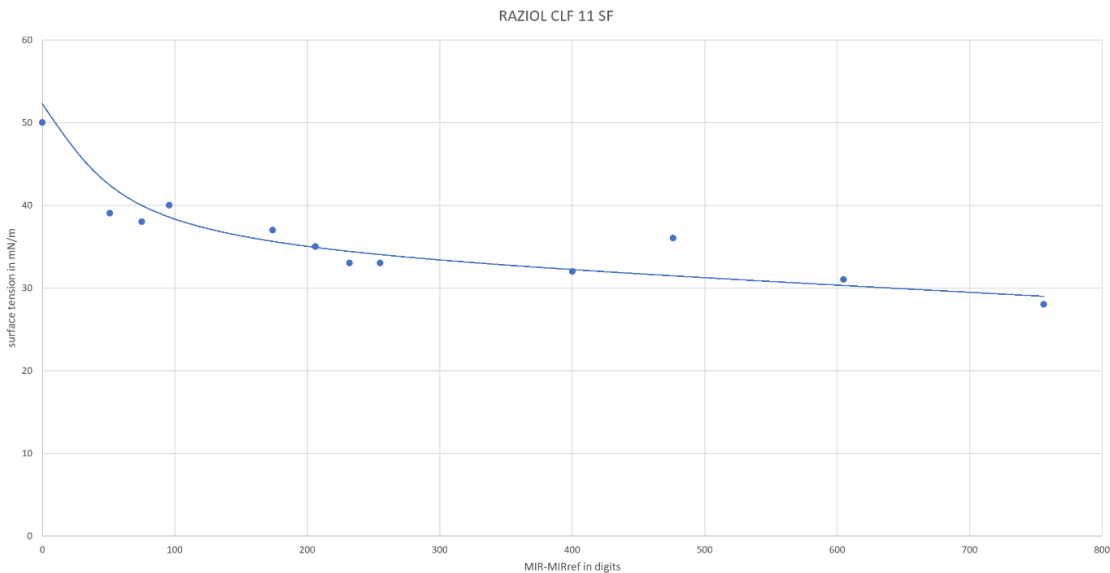
RAZIOL CLF 11 SF 1st measurement



**6.11.2 Correlación entre el espesor de la capa de aceite y la señal normalizada medida**



**6.11.3 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial**



## 6.12 Raziol CLF 11 SG

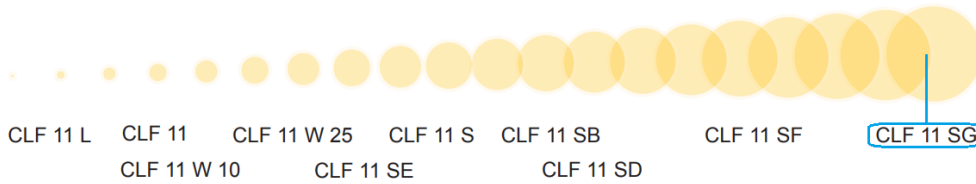
### 6.12.1 Tiempo de evaporación de los componentes volátiles contenidos en el aceite.

# CLF 11 SG

## Rückstandsverhalten

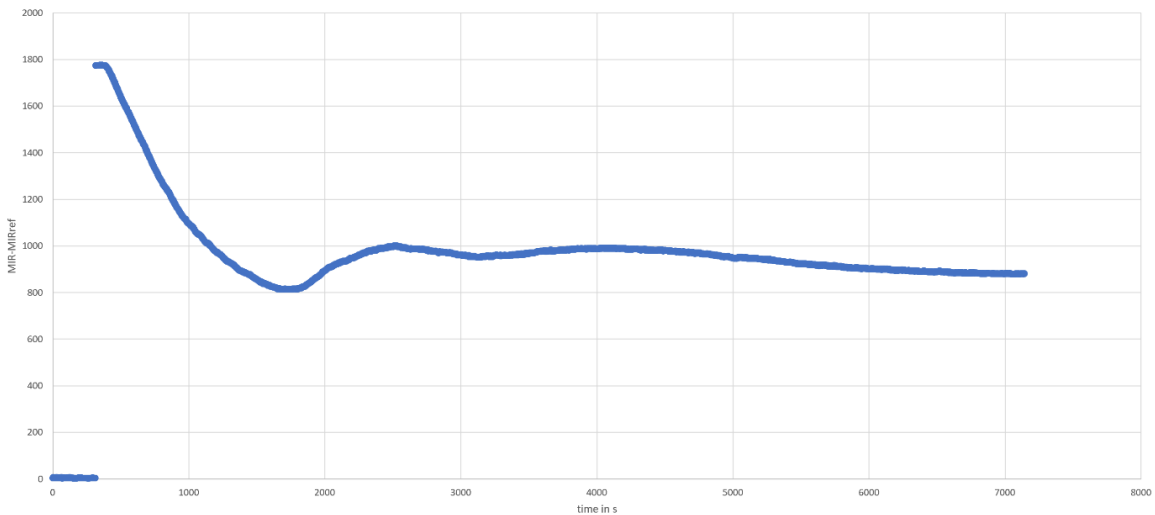
gering < <

> > hoch

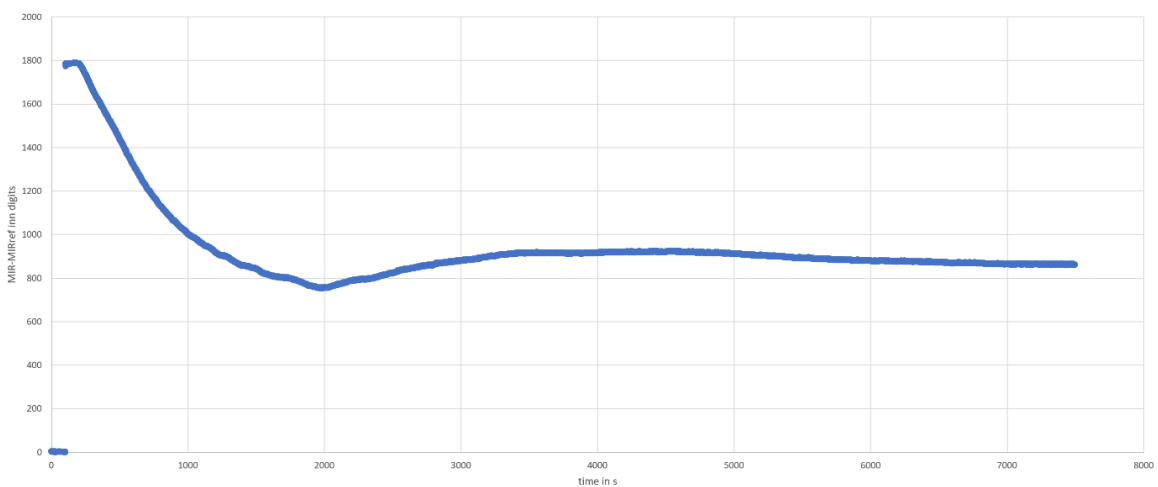


- Tiempo de evaporación: aprox. 100 min
- Cantidad de residuos de aceite: aprox. 48%

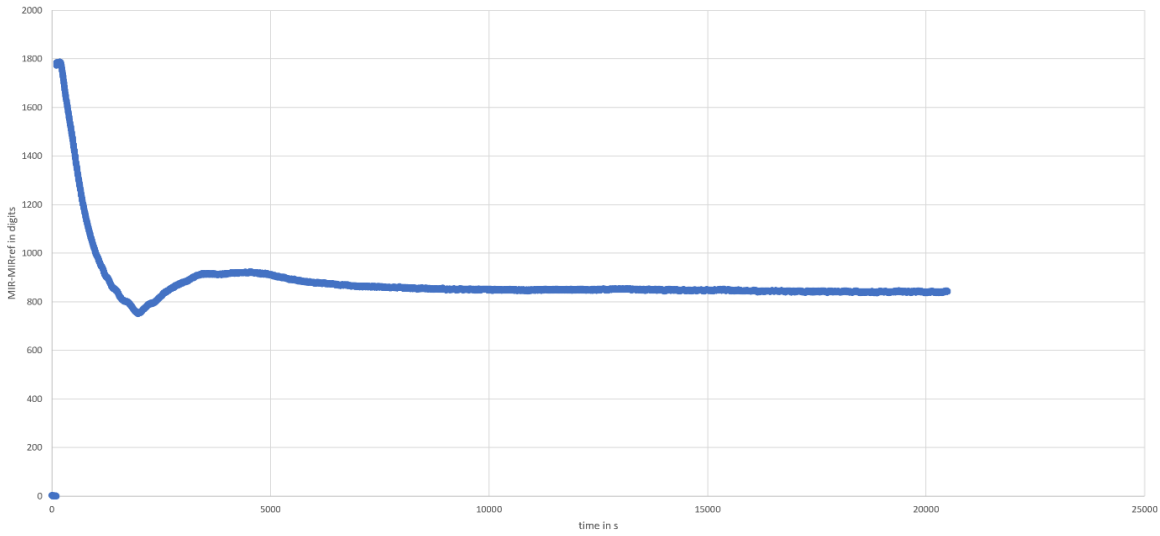
RAZIOL CLF 11 SG 1st measurement



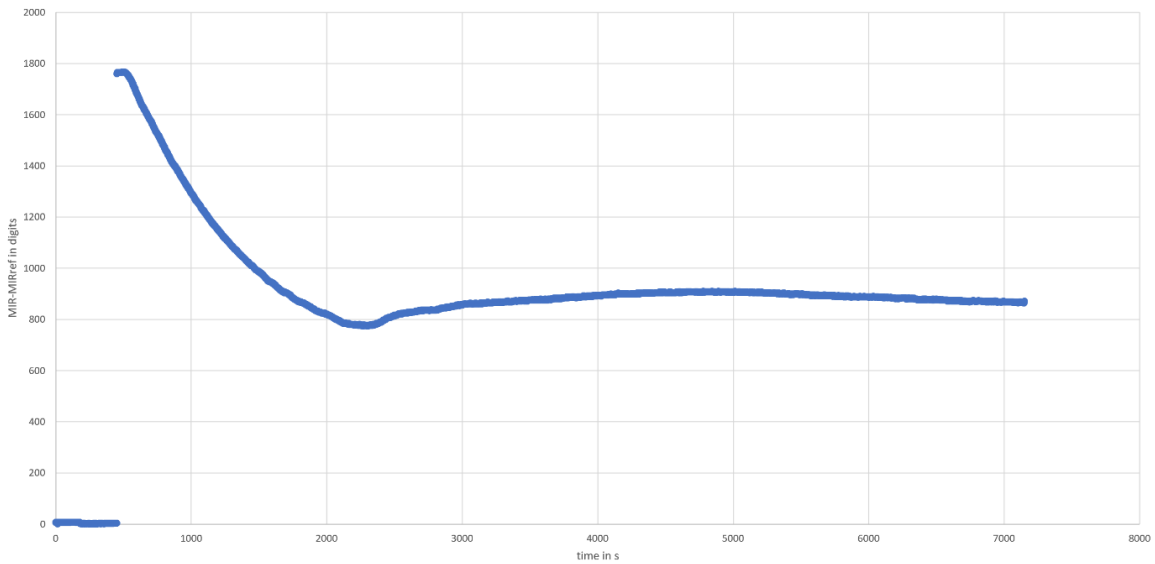
RAZIOL CLF 11 SG 2nd measurement zoomed



RAZIOL CLF 11 SG 2nd measurement



RAZIOL CLF 11 SG 3rd measurement



**6.12.2 Señal de sensor normalizada en función de la tensión superficial**

RAZIOL CLF 11 SG

