

Capítulo V. Conclusiones

El diseño del sensor capacitivo tipo peine del sistema de medición propuesto está basado en simulaciones realizadas con el Método de Elemento Finito (MEF) y con las que se determinaron sus parámetros de diseño. Con las gráficas de C versus ε_r se observó que la capacitancia tiene una respuesta lineal en función de la permitividad relativa para diferentes espesores del MBP, lo que permite determinar una aproximación de la sensibilidad para diferentes MBP. Para espesores del MBP entre 1.5 [mm] y 2 [mm] se observó que la variación de capacitancia es más lenta y tiende a llegar a un valor de capacitancia máximo, esto quiere decir que existe un espesor máximo del MBP que no es conveniente para realizar mediciones. Para espesores menores a 0.5 [mm] la variación de capacitancia es más rápida. En el caso de que se utilice un sustrato sobre el área sensible del sensor, como fue en el caso de las mediciones realizadas en este trabajo, esta información es fundamental porque se puede apreciar que entre menor sea el espesor de este sustrato se tendrá una sensibilidad mayor en las mediciones capacitivas y en este caso se podrá realizar una calibración inicial para solamente detectar las perturbaciones del campo eléctrico del MBP que se deposite sobre este sustrato.

En las gráficas de C versus d se observó que la respuesta de la capacitancia en función del espesor no es lineal para diferentes permitividades relativas del MBP. La variación de la capacitancia es menor conforme aumenta el espesor y tiende a converger a un valor de capacitancia máximo. Para espesores menores a 0.5 [mm] se puede observar una variación más rápida de la capacitancia para diferentes permitividades relativas del MBP. Con estos datos se puede obtener el rango dinámico del sensor. En esta gráfica se puede comprobar claramente que es aconsejable utilizar un sustrato con un espesor menor a 0.5 [mm] sobre el área sensible del sensor. Estos resultados permitieron diseñar un sensor capacitivo con la característica de utilizar sustratos de vidrio intercambiables de 100 [μm] de espesor sobre su área sensible para realizar las mediciones capacitivas de diferentes MBP sobre la superficie del sustrato. Esta característica hace que la técnica de monitorización temporal capacitiva sea más versátil. En cuestión de escalamiento, se observó que es posible reducir el tamaño de la electrónica de acondicionamiento por una electrónica de montaje superficial.

A ciencia cierta el proceso de evaporación de solventes y el secado de películas coloidales no es un proceso sencillo de explicar debido a que los solventes tienen una cierta conductividad que no fue registrada, en los experimentos solo se tomó la corriente compleja la cual permitía obtener de forma indirecta el valor de capacitancia del MBP, la corriente real es la que proporciona la información de la conductividad del MBP, en investigaciones posteriores esta corriente se debe tomar en cuenta para adquirir más información sobre los cambios que sufra un MBP.

Los experimentos realizados con el sistema de monitorización temporal capacitivo propuesto sirvieron para ver la respuesta del sensor. Para el proceso de evaporación y para el secado del resistol se obtuvo una buena relación señal a ruido con respecto de la calibración inicial de cero antes de cada medición. Para el proceso de secado de la película de pintura la relación señal a ruido disminuyó sin embargo, se registraron cambios de capacitancia de hasta 0.1 femto-faradios durante el proceso. En todos los casos el límite de la calibración de cero fue el promedio del ruido en un lapso de 100 segundos registrado por el amplificador Lock-in en el ancho de banda de trabajo, alrededor de $50 \left[\frac{aF}{\sqrt{Hz}} \right]$. Es posible aplicar el escalamiento capacitivo al sensor tomando en cuenta que las principales limitantes en las mediciones son la resolución mínima que tenga el equipo de instrumentación y el ruido. Esto implica que se puedan reducir las dimensiones del sensor a una escala micrométrica así como reducir el tamaño de la electrónica de acondicionamiento por una electrónica de montaje superficial o incluso integrarlo en un circuito integrado.

Para que el desempeño del circuito de acondicionamiento de la señal sea óptimo se deben cuidar varios factores que afectan directamente su funcionamiento:

- Si la temperatura no se encuentra dentro del intervalo (10 [°C] a 40 [°C]) el amplificador Lock-in puede fallar y hay que evitar estas temperaturas límites. Si se aísla el amplificador Lock-in térmicamente es posible trabajar a las condiciones de uso que no afectan al equipo.
- Si la humedad relativa es mayor al 91% y/o con condensación la electrónica de acondicionamiento puede fallar, por ejemplo no se obtendrían mediciones verídicas y quizá no sería posible realizar la calibración de cero.
- Como se trata de un sensor que está en contacto directo con el medio ambiente (condiciones no controladas) el valor de la capacitancia medida puede resultar errónea, el sensor es capaz de captar presencia de objetos en movimiento a una distancia de 20 [cm], esto se debe tomar en cuenta al momento de medir.

No se consideró la presión atmosférica en Ciudad Universitaria de 77.77[kPa] porque nos encontramos a una presión constante, pero es posible que si se realiza la medición a otra altura las gráficas puedan variar, hasta el momento no se sabe que pueda ocurrir si cambia la presión atmosférica.

En algunas circunstancias es posible adaptar el sensor a condiciones ambientales para un proceso en particular. Los resultados obtenidos permiten que la técnica de monitorización temporal capacitiva propuesta pueda ser aplicable en diferentes procesos físico-químicos y biológicos en investigación y/o industriales.

Las aplicaciones se pueden extender en diversas áreas entre ellas pueden ser:

- Química. Observando los fenómenos eléctricos de un MBP.

- Física. Si se miniaturiza el sensor se pueden hacer mediciones eléctricas de algún fenómeno en otro orden de magnitud.
- Médica. Mediciones en la sangre.
- Biológica. Reproductividad de bacterias.
- Robótica. Un robot con este sensor podría separar e identificar el material con el que se encuentra interactuando.

Finalmente el objetivo de realizar las pruebas descritas en esta tesis fue estudiar la respuesta de un sensor capacitivo tipo peine junto con un sistema de monitorización temporal capacitiva propuesto. Los resultados obtenidos en procesos de coloidales como son el secado de resistol y de pinturas mostraron que es posible aplicar esta técnica de medición a otro tipo de procesos como la evaporación de solventes en la cual se obtuvieron buenos resultados y posiblemente a procesos de tipo bioquímico.