



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
VICERRECTORÍA DE PREGRADO

PROYECTOS DE DESARROLLO E INNOVACIÓN DOCENTE 2019



FONDO CONCURSABLE



Diseño e implementación de un Tensiómetro por medio de herramientas de diseño de ingeniería e implementación de prácticos de laboratorio para el curso Fisicoquímica

| | |
|---|--|
| Nombre Docente(s) Responsable Nombre docentes colaboradores: | Responsable: Mauricio Zamorano Colaborador: Gerson Valenzuela |
| Departamento | Departamento de Ingeniería Química |

I. RESUMEN

La adecuada comprensión de fenómenos superficiales es crucial para el Ingeniero Químico. La escala molecular involucrada en estos fenómenos, vuelve su enseñanza abstracta y difícil de ilustrar. En el curso IIQ252 se ha evidenciado un aprendizaje insuficiente de dichos conceptos. El desempeño mejoraría si se implementaran actividades prácticas donde el estudiante pudiera observar dichos fenómenos, medir las propiedades relevantes (tensión, ángulo de contacto) y aplicar el marco teórico en un contexto real. Sin embargo, el elevado costo de los equipos requeridos (tensiómetro, ~\$20 millones) hace difícil su implementación. Surge como oportunidad de innovación, el desarrollo de un tensiómetro, basado en herramientas de diseño de ingeniería, para su aplicación como instrumento pedagógico en IIQ252. Este proyecto tiene como objetivos, el diseño y construcción de un Tensiómetro de bajo costo basado en controladores Arduino e Impresión 3D, y la posterior implementación de experiencias de laboratorio en IIQ252. El diseño requirió la fabricación de una bomba de jeringa y un dispositivo de captura de imágenes en tándem que emularán un tensiómetro comercial. La innovación se evaluará comparando el desempeño de los estudiantes frente a la materia antes y después de realizar la experiencia de laboratorio.

II. INTRODUCCIÓN

La adecuada comprensión de fenómenos superficiales es crucial para el Ingeniero Químico. La operación unitaria de flotación, es de importancia industrial, y junto a las operaciones de transferencia de masas en general, son aplicaciones donde conceptos claves de fenómenos superficiales como mojabilidad, tensión superficial y ángulo de contacto requieren ser bien comprendidos. La escala molecular involucrada en estos fenómenos, vuelve su enseñanza abstracta y difícil de ilustrar con los recursos convencionales de aula. La ecuación de Young-Laplace relaciona la variación de presión en una inter-fase curva. Su comprensión y aplicación requiere imaginar tridimensionalmente la inter-fase para visualizar y analizar su curvatura. La tensión superficial se relaciona con la fuerza que una inter-fase puede ejercer. Calcular la fuerza requiere imaginar la inter-fase y su rol en la situación física.

En el curso IIQ252 se estudian los fenómenos superficiales y en sus versiones 2018-1 y 2018-2, se ha evidenciado un aprendizaje insuficiente de dichos conceptos. Los estudiantes debían calcular la tensión superficial desde una medición de fuerza para una geometría simple. La dificultad recae en visualizar tridimensionalmente la inter-fase así como en relacionar los conceptos involucrados. La enseñanza de fenómenos superficiales en el curso se vería beneficiada mediante el diseño e implementación de actividades prácticas donde el estudiante pudiera observar fenómenos superficiales, medir las propiedades relevantes (tensión, ángulo de contacto) y utilizar el marco teórico en un contexto real. Lo anterior mejoraría los procesos de aprendizaje de aspectos conceptuales y teóricos complejos. Los resultados de una encuesta aplicada a los estudiantes muestran que un 90% opina que el aprendizaje teórico de fenómenos superficiales se beneficiaría con la implementación de actividades prácticas. Una gran dificultad en esta área es el alto costo de los equipos para medir tensión superficial (tensiómetro, en el rango de \$20 millones).

El curso IIQ252 tiene como competencia de titulación el Integrar los principios, conceptos y procedimientos de las ciencias básicas con los de la ingeniería para participar del quehacer propio de la industria manufacturera asociada a procesos químicos. Como se ha mencionado, la comprensión de los fenómenos superficiales cumple un rol fundamental en la comprensión de ciertas operaciones unitarias clave para un ingeniero químico y por ello, el estudiante se beneficiaría muchísimo de la implementación de actividades prácticas que apoyaran el desarrollo de dichas competencias. Aquí se vio como oportunidad de innovación, el diseño y construcción de un tensiómetro, basado en herramientas de diseño de ingeniería, para su aplicación como herramienta pedagógica en IIQ252.

III. OBJETIVO.

Objetivo General:

Desarrollar e implementar un Tensiómetro para medir propiedades fisicoquímicas superficiales e implementación de prácticos de laboratorio para el curso de Fisicoquímica IIQ252 por medio de herramientas de diseño de ingeniería.

Objetivo Específico 1:

Diseño y construcción de un Tensiómetro mediante estrategia de diseño de ingeniería.

Objetivo Específico 2:

Diseño y puesta en marcha de experiencias de laboratorio para el curso IIQ252

IV. MÉTODOS

Diseño de un tensiómetro

Para desarrollar el prototipo de tensiómetro, se siguió el ciclo de diseño (ver figura 1). Éste, permite sistematizar la exploración y el análisis de problemas, el desarrollo de soluciones factibles, su implementación a nivel preliminar, su prueba y evaluación en marcha, y su modificación para obtener un dispositivo final de la solución propuesta para resolver el problema de diseño presente.

Las soluciones pueden consistir en modelos, prototipos, productos o sistemas creados con herramientas de ingeniería, software CAD y manufactura aditiva. En la figura 1, se pueden ver las etapas características del ciclo.

La oportunidad de diseño, nace de la necesidad en el curso IIQ252, que, a través de una encuesta aplicada antes del proyecto, estableció la necesidad de experiencias prácticas para reforzar los conceptos del curso.

En la primera etapa, “Análisis y definición” se parte buscando un problema a resolver, y así identificar una oportunidad de diseño. En este proyecto, la oportunidad de diseño, nace de la necesidad en el curso IIQ252, que, a través de una encuesta aplicada antes del proyecto, estableció la necesidad de experiencias prácticas para reforzar los conceptos del curso. Luego de tener definido el problema, se investiga soluciones actualmente existentes en el mercado para ver cómo funcionan e idear una solución alternativa. Se revisó el funcionamiento de un tensiómetro óptico comercial. Este dispositivo funciona generando una gota con una jeringa y una bomba, y luego haciendo pasar un haz de luz a través de la gota. Generando contraste y luego fotografiando dicha gota (ver figura 3-b)). El software del dispositivo luego calcula la tensión superficial al mapear la gota en una gráfica x-z y utilizando distintos modelos, y la ecuación de Young-Laplace.

Esta etapa permite generar la instrucción del nuevo diseño y las preguntas de control, que luego llevarán a las especificaciones preliminares de diseño. Se consideran materiales necesarios y disponibles, el equipamiento para su procesamiento, la aplicación en su, restricciones particulares de la aplicación (como por ejemplo la resolución de la medición).



Figura 1. Ciclo del diseño

En la segunda etapa, “Desarrollo”, se define las especificaciones y desarrolla ideas preliminares basadas en el análisis previo y se selecciona un diseño a construir. Esto llevo a la definición del material que se utilizaría, las soluciones técnicas a nuestro alcance, y por último a la generación de modelos CAD para la construcción del equipo.

En la tercera etapa, “Creación y solución”, con los que construyó e implemento un tensiómetro basado en una bomba de jeringa utilizando controladores Arduino, una cámara de captura de imágenes y un software que controlara la generación de la gota y la captura de la imagen. La construcción se basó en los modelos CAD realizados y fue implementada por medio de impresión 3D.

Una vez implementada la solución, se entra a la cuarta y última etapa, “Evaluación”, donde se pone a prueba el diseño para buscar las limitaciones del dispositivo construido y modificarlo para lograr un producto final adecuado y a la altura del requerimiento.

Sustento teórico del Tensiómetro óptico

En fisicoquímica, se define una fase como una región definida, caracterizada por tener propiedades intensivas constantes (presión, temperatura, composición, etc.). Cuando se tienen dos fases distintas en contacto, existe una “inter-fase” entre ellas, en la que se produce la transición de los valores de las propiedades intensivas de las fases. Las moléculas que se encuentran en la inter-fase, tienen un entorno distinto al de las moléculas al interior de las fases. Por ejemplo, si la inter-fase es entre un líquido y un gas, la densidad que rodea a las moléculas de la inter-fase, sería intermedia entre la del líquido y la del gas (que son considerablemente distintas entre si). En general la fracción de las moléculas que se encuentran en esta región es pequeña comparada con el total, y por ello, su impacto sobre las propiedades del sistema es despreciable. Sin embargo, existen una serie de operaciones en ingeniería química en donde estas propiedades son importantes, en especial, cuando el área de contacto entre las fases es alta, ya que los fenómenos de superficie y de transporte desde una fase a otra se verán afectados y controlados por la naturaleza de la inter-fase. Por ejemplo, sistemas con mucha superficie de contacto, como los coloidales, o sólidos porosos. También serán muy importantes en aquellos procesos que tienen lugar sobre superficies (corrosión, reacciones, membranas celulares). Algunas aplicaciones de ingeniería químicas que se basan en fenómenos superficiales, flotación, adherencia, lubricación, detergencia, etc.

Es en este marco que la tensión superficial es relevante. Se puede observar que, en una inter-fase, existe una tendencia natural a minimizar el área de contacto (superficial) y por ello, las moléculas en la inter-fase. De este modo, el aceite en agua tiende a formar una gota. Dicha forma esférica, produce la menor relación área/volumen (directamente relacionado con una menor cantidad de moléculas en la inter-fase). Del mismo modo, dos gotas de aceite que entran en contacto, tenderán a fusionarse, para minimizar dicha relación. Estas interacciones están directamente relacionadas con las fuerzas de interacción (atracción – repulsión) de cada una de las fases. De este modo la tensión superficial representa la tendencia natural de la superficie de un líquido a encogerse a su mínima área superficial posible, y se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar la razón área/volumen de una inter-fase líquida. La tensión superficial tiene unidad de fuerza por unidad de longitud, o energía por unidad de área.

Ecuación de Young-Laplace

Esta ecuación describe la relación entre la presión de una fase con la curvatura de su superficie. Fue desarrollada al comienzo de los 1800s en paralelo por Young y Laplace, y por eso lleva su nombre.

$$\Delta P = P_{ext} - P_{int} = \rho gh - \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

ΔP es llamado la presión de Laplace, y representa la diferencia de presión entre el exterior y el interior de la gota. ρgh es la presión hidrostática, R_1 y R_2 representan los radios de curvatura de la gota y γ es la tensión superficial. Los valores de R_1 y R_2 pueden obtenerse con el método del plano de inflexión, que requiere se conozca los puntos del plano x-z que definen la gota, la generación de

una función que los represente y el cálculo de los puntos de inflexión (tangente), de acuerdo a la figura 2.

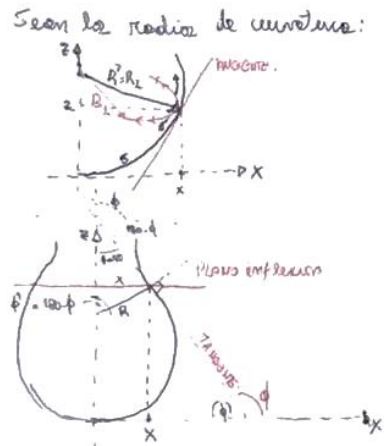


Figura 2. Radios de curvatura de una gota y el método del plano de inflexión

- V. **RESULTADOS** en relación al problema que generó esta experiencia de innovación ¿de qué manera se evidenció el cambio? ¿Cuáles fueron los hallazgos? Aporte evidencias tales como: encuesta a estudiantes u otros. Se pueden incluir gráficos o tablas (máximo 2 páginas).

Se construyó Tensiómetro óptico con herramientas de ingeniería de diseño, consistente de una bomba de jeringa utilizando controladores Arduino y adosada a una jeringa Hamilton de precisión de 5 uL, una cámara de captura de imágenes y un software que controlara la generación de la gota, la captura de la imagen y el mapeo gráfico para generar los datos x-z y el posterior cálculo de la tensión superficial por el método del plano de inflexión y la ecuación de Young-Laplace. Se hicieron modelos CAD de las partes plásticas, que luego se imprimieron en una impresora 3D Ultimaker 3. La cámara se construyó con piezas de madera y plástico PLA. Una vez ensambladas las partes, se desarrolló por separado el software controlador de la bomba, el software que maneja la captura de la fotografía, la obtención de la data x-z y el cálculo, el cálculo de la tensión superficial.

La primera barrera fue el encontrar los controladores Arduino adecuados ya que el ejercicio de la bomba es demandante para el motor stepper que se utilizó. Luego de lograr un diseño adecuado. Encontramos una segunda barrera, la resolución de la cámara fotográfica de la que se disponía. El equipo comercial utiliza una cámara fotográfica de alta resolución que permite lograr la captura de una imagen de calidad en un cuarto iluminado. Para lograr una resolución adecuada, con una cámara de menor capacidad, decidimos construir una cámara oscura de captura de imágenes, logrando un contraste mayor al pasar el haz de luz, y así poder utilizar una cámara de menor resolución.

Se desarrolló un software que permitiera controlar la bomba peristáltica utilizando el lenguaje e la interfaz nativos de Arduino. el software que permitiera tomar y analizar la foto, así como controlar la acción sincronizada entre la bomba y la cámara fue desarrollado utilizando MATLAB. El software utiliza la ecuación de Young Laplace para calcular la tensión superficial de una gota líquida colgante (al igual que los equipos comerciales).

En la figura 3-c-d-e-f se puede ver las partes del dispositivo construido y el software de captura y análisis de imagen y la medición del software. Este equipo debió luego ser evaluado respecto a un equipo comercial. Esta parte del proyecto quedó postergada debido a la emergencia COVID.

Luego se generaron actividades para realizar el laboratorio del curso Físicoquímica IIQ252, se describen a continuación.

Actividad en laboratorio para el curso IIQ252

El objetivo del laboratorio de fisicoquímica es facilitar en los estudiantes la comprensión y aprendizaje de conceptos de *fenómenos superficiales* tales como: curvatura, inter-fases curvas, fuerza asociadas a la tensión superficial, y la ecuación de Young Laplace. El tensiómetro permite a los estudiantes: observar la inter-fase curva no esférica de una gota suspendida, analizar su forma y relacionar la forma de la inter-fase con las fuerzas que mantienen a la gota suspendida. Así, los estudiantes tienen un acercamiento real con la geometría tridimensional involucrada en fenómenos superficiales, se les facilita comprender el significado de los radios de curvatura que definen la forma de una inter-fase y pueden aplicar la ecuación de Young-Laplace para medir la tensión superficial del líquido en base al análisis de la forma de la inter-fase. La actividad comprende las siguientes etapas: (1) El curso se divide en grupos de trabajo; (2) En laboratorio, los estudiantes de cada grupo utilizan el equipo para observar gotas de diferente forma y volumen, registrando estas gotas mediante fotografías. El equipo genera una tabla de datos de los puntos (x,z) que forma la inter-fase de la gota, información que se les entrega a los estudiantes; junto a los parámetros calculados con el software (3) Posteriormente, los grupos trabajan durante una semana analizando los datos, con

lo cuál necesariamente tendrán que revisar y comprender las ecuaciones (previamente enseñadas por el docente) requeridas en los cálculos para obtener la tensión superficial. (4) Cada grupo genera un informe de la experiencia y resultados. (5) Finalmente el docente realiza una retroalimentación general al curso sobre la experiencia y resultados obtenidos por los grupos.

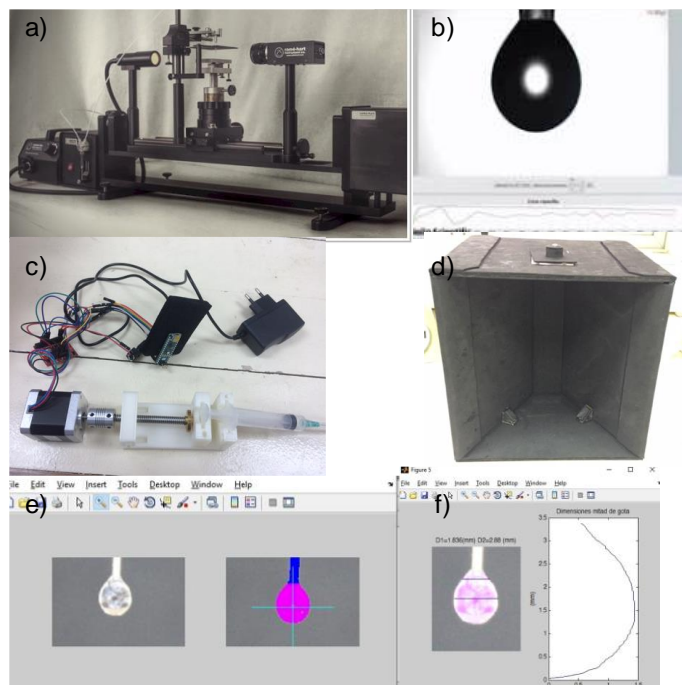


Figura 3. a) tensiómetro óptico disponible en el mercado, b) medición hecha con tensiómetro comercial, c) bomba de jeringa construida, d) cámara de adquisición de imágenes, e y f) mediciones con nuestro dispositivo.

Instrumento de medición de éxito del proyecto

Una vez aplicado el laboratorio a los alumnos, se debía repetir la encuesta que dio origen al proyecto y demostrar mejora en los resultados de aprendizaje. Debido a la crisis COVID, esta instancia no se realizó. Este instrumento se desarrollo en google forms.

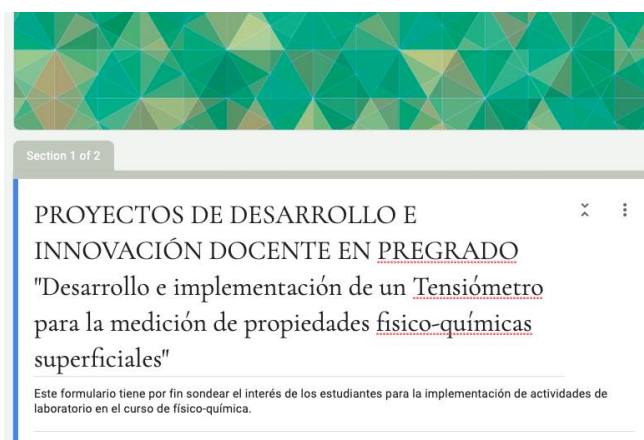


Figura 3. Instrumento de evaluación del éxito del proyecto

VI. CONCLUSIONES

El proyecto requería el desarrollo, implementación y puesta en marcha de un Tensiómetro óptico de bajo costo, actividades de laboratorio y la difusión de los logros. Siguiendo una estrategia de diseño de ingeniería se logró implementar el equipo en cuestión y hacerle modificaciones para su mejor operación. Para la construcción e implementación, se utilizó impresión 3D, modelamiento CAD, programación en lenguaje nativo de Arduino y en lenguaje MATLAB. El equipo construido es capaz de medir los parámetros requeridos con éxito, generando la data x-z requerida y siendo capaz de entregar valores de tensión superficial. Se desarrollaron teóricamente las actividades de laboratorio que se realizarán y el instrumento de medición del éxito de la experiencia. Sin embargo, la crisis Covid-19, no permitió el proceso de calibración y comparación de las capacidades del tensiómetro desarrollado, con su contraparte comercial. Tampoco se pudo implementar en el laboratorio ni hacer difusión de los resultados. Estas actividades se esperan sean implementadas cuando se pueda regresar al trabajo presencial.

VII. **REFERENCIAS** Las referencias deben ser incluidas al final del trabajo y ordenadas alfabéticamente. Las citas bibliográficas en el texto se deben indicar con el apellido del o los autores y el año de publicación (si son más de dos autores, se debe indicar el apellido del primer autor seguido de et al. y el año de publicación).

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/young-laplace-equation>

<https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/engineering-design-process/engineering-design-process-steps>

<https://al09005.wixsite.com/ciclo1/single-post/2013/12/02/HANOI-PARTE-1>

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/j100890a024>