

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ  
UREÑA (UNPHU)**

**Facultad de Ciencias y Tecnología  
Escuela de Química**



**“Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación”**

**Trabajo de grado presentado por:**

**Laura Patricia Sánchez Rosario**

**Para la obtención del grado de**

**Ingeniero Químico**

Santo Domingo, D. N., República Dominicana

2021

## **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, gracias a Dios por darme el entendimiento necesario para concluir con mi carrera de ingeniería química. Gracias a mi querido hermano Ramón Antonio Sánchez Rosario por servirme de soporte, guía y ayudarme a dar lo mejor de mi durante esta experiencia; a mis padres Cándida Rosario y Ramón Sánchez por alentarme en los momentos de dificultad, y desesperación, Sin ellos no hubiera sido posible finalizar este proyecto; a mis segundos padres Florencia Rosario y Manuel Grullón por su dedicación y apoyo incondicional. A toda mi familia: Basilio Rosario, Juana Fermín, Lourdes, Fernando, Victoria, Leo, Máxima, Norma, Octavio, Leydy, Isodeli, Yisel, Zuleika, Marielys, Luis Ricardo, Juan Carlos, Santo Esteban. Doña Asia, Robert, Jenny y Carlos.

A mis amigos Nelfy Tavares, gracias por estar en esos momentos de desesperación, en las noches de desvelo, por ayudarme en la realización de este trabajo, por acompañarme en esta experiencia, la cual espero te sirva de experiencia; a Ramon Alonso y Luis Emilio Winter; gracias por formar parte de esta vivencia, ustedes son mis hermanos.

Gracias aquellos profesores que dedicaron su tiempo para ayudarme aclarar mis inquietudes: Maribel Espinosa, Sandra Miniño, Doris Peña y Josefina Castillo. Comenzaron como maestras, pero el tiempo las convirtió en parte de mi familia, las tías de la universidad.

Por último y no menos importante gracias a mis asesores Doris Peña y Ramón Pérez por su esfuerzo y dedicación en la realización de este trabajo de grado. GRACIAS.

**Laura Sánchez**

## **DEDICATORIAS**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios, a mi hermano, mis padres, familiares, amigos, profesores y a todas aquellas personas que estuvieron presente, personal o virtual, viviendo esta experiencia junto a mí, haciendo la suyas también.

**Laura Sánchez**

## **ÍNDICE**

## **INDICE**

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>vi</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
Objetivos Generales.....	5
Objetivos Específicos.....	5
<b>JUSTIFICACION.....</b>	<b>6</b>
<b>ALCANCE.....</b>	<b>8</b>
<b>PRIMERA PARTE</b>	
<b>MARCO TEORICO</b>	
<b>CAPITULO I ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
I.1 Encapsulación.....	11
I.2 Microencapsulación.....	13
<b>CAPITULO II Mezcladores.....</b>	<b>15</b>
II.1 Mezclador Dispensor.....	15
II.2 Tipos de Mezcladores Homogeneizadores.....	16
II.2.1 Mezcladores en Línea.....	16

<b>II.2.2 Mezcladores por Lote</b> .....	17
<b>II.2.2.1 Mezcladores de Inmersión con Propósitos Múltiples</b> .....	17
<b>II.2.2.2 Mezcladores de Laboratorio</b> .....	17
<b>II.2.2.3 Mezcladores de Aire Comprimido</b> .....	17
<b>II.2.2.4 Mezcladores con Unidad Sellada</b> .....	18
<b>II.2.2.5 Homogeneizadores Ultrasónicos</b> .....	18
<b>II.3 Procesos que Realizan los Homogeneizadores</b> .....	20
<b>II.3.1 Combinación</b> .....	20
<b>II.3.2 Emulsificación</b> .....	20
<b>II.3.3 Homogenización</b> .....	21
<b>II.3.4 Disolución</b> .....	21
<b>II.3.5 Desaglomeración</b> .....	21
<b>II.3.6 Reducción de Partículas</b> .....	21
<b>II.4 Encapsulación</b> .....	22
<b>II.5 Microencapsulación</b> .....	22
<b>II.6 Tipos de Microencapsulación</b> .....	22
<b>II.6.1 Métodos Químicos</b> .....	23
<b>II.6.1.1 Coacervación</b> .....	23
<b>II.6.1.2 Co-Cristalización</b> .....	24
<b>II.6.1.3 Polimerización Interfacial</b> .....	24
<b>II.6.1.4 Gelificación Iónica</b> .....	25
<b>II.6.1.5 Incompatibilidad Polimérica</b> .....	25



II.6.1.6 Atrapamiento de Liposomas.....	26
II.6.1.7 Inclusión Molecular.....	26
II.6.2 Método Mecánico.....	26
II.6.2.1 Extrusión.....	27
II.6.2.2 Secado por Congelamiento/Enfriamiento.....	27
II.6.2.3 Liofilización.....	28
II.6.2.4 Secado por Aspersión.....	28
II.6.2.5 Dispersión-reticulación y Dispersión-técnica de coacervación.....	28

## SEGUNDA PARTE

### DISEÑO DEL EQUIPO

CAPITULO III Diseño del Equipo.....	32
III.1 Diseño Estándar de un Homogeneizador del Tipo L5.....	32
III.2 Condiciones que debe Cumplir el Equipo.....	34

## TERCERA PARTE

### CALCULOS Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO

CAPITULO IV Cálculos para la construcción del equipo.....	36
IV.1 Cálculos para el diseño.....	36
IV.2 Cálculo del Número de Reynolds, Potencia Consumida y Eficiencia.....	36
IV.3 Comprobación de la Selección del Motor.....	40
IV.4 Determinación de la Velocidad del Motor.....	40

<b>IV.5 Cálculos y Dimensionamiento del Eje Giratorio.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.1 Fuerzas Aplicadas al Eje.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.2 Momento Torsor.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.5.3 Trabajo del Eje.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.5.4 Cálculo de las aspas.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPITULO V Construcción del Equipo.....</b>	<b>47</b>
<b>V.1 Materiales utilizados para la construcción del Homogeneizador.....</b>	<b>47</b>
<b>V.2 Maquinas Utilizadas para la Construcción de los elementos del equipo.....</b>	<b>48</b>
<b>V.3 Adquisición de Materiales y Equipos.....</b>	<b>48</b>
<b>V.4 Construcción del Homogeneizador.....</b>	<b>48</b>
<b>V.4.1 Base.....</b>	<b>49</b>
<b>V.4.2 Eje Soporte.....</b>	<b>51</b>
<b>V.4.3 Soporte Motor.....</b>	<b>51</b>
<b>V.4.4 Marco de Fijación y Manijas.....</b>	<b>52</b>
<b>V.4.5 Tapa del Motor.....</b>	<b>53</b>
<b>V.4.6 Eje Giratorio.....</b>	<b>53</b>
<b>V.4.7 Motor.....</b>	<b>54</b>
<b>V.5 Sistemas Mecánicos Principales.....</b>	<b>54</b>
<b>V.5.1 Sistema de Mezelado.....</b>	<b>55</b>
<b>V.5.2 Sistema de Elevación.....</b>	<b>55</b>
<b>V.6 Ensamble del Homogeneizador.....</b>	<b>57</b>

V.6.1 Parte Fija.....	57
V.6.2 Sistema Móvil.....	59
<b>CAPITULO VI Pruebas del Equipo.....</b>	<b>61</b>
Ensayos Químicos.....	61
<b>CAPITULO VII Resultados Obtenidos.....</b>	<b>64</b>
VII.1 Resultados.....	64
VII.2 Análisis de los Resultados.....	67
VII.3 Rendimiento del Equipo.....	68
<b>SEXTA PARTE</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>CAPITULO VIII Conclusiones.....</b>	<b>70</b>
<b>CAPITULO IX Recomendaciones.....</b>	<b>72</b>
<b>SEPTIMA PARTE</b>	
<b>REFERENCIAS</b>	
Libros y Tesis.....	74
Artículos y Publicaciones.....	75
Sitios Web.....	79

## OCTAVA PARTE

### ANEXOS

Anexo 1 Glosario.....	81
Anexo 2 Imágenes.....	83
Anexo 3 Microcápsulas.....	97
Anexo 4 Tablas.....	106
Anexo 5 Manual de Uso del Homogeneizador.....	113

## **INTRODUCCIÓN**

## **INTRODUCCIÓN**

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas, biológicamente activas como sabores, vitaminas o aceites esenciales y otro tipo de compuestos, son introducidos en una matriz de biopolímeros con el objetivo de impedir su pérdida o para protegerlos de la reacción con otras sustancias del ambiente. Las sustancias encapsuladas tienen la ventaja de liberarse gradualmente de la matriz o pared que lo tiene atrapado.

En la actualidad, uno de los métodos más utilizados para la conservación de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos es la microencapsulación por coacervación. Muchas sustancias, tales como jugos, zumos de frutas, vegetales y compuestos farmacológicos, fácilmente pierden su actividad biológica por oxidación, cuando se exponen a la luz o al oxígeno. Esta situación amerita la aplicación de métodos que impidan la degradación o reduzcan los efectos antioxidantes de los componentes activos encontrados en estas matrices.

El propósito del presente trabajo de grado es diseñar y construir un prototipo de homogeneizador tipo dispersor para promover proyectos de investigación en el área de la microencapsulación, y a su vez, realizar ensayos con los estudiantes de las carreras de Ingeniería Química y Farmacia de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.

La estructura del trabajo la conforman ocho secciones, divididas en capítulos, la primera parte abarca los capítulos I y II, donde se tratan los antecedentes, los tipos de mezcladores, encapsulación, microencapsulación y técnicas de microencapsulación. La segunda parte constituida por el capítulo III, aquí se presenta el diseño del equipo. La tercera parte está formada por el capítulo IV y V, en los cuales se encuentran los cálculos de las variables de control y eficiencia para la construcción del equipo. La cuarta parte está integrada por el capítulo VI, en el que se indican los ensayos realizados con el equipo. La quinta parte contiene el capítulo VII, el cual describe los resultados obtenidos con la realización de los ensayos. La sexta parte establece los capítulos VIII y IX los cuales tratan las conclusiones y recomendaciones, la séptima y octava parte recogen las referencias y anexos respectivamente.

## **OBJETIVOS**



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un homogeneizador dispersor por inmersión, para ser utilizado en investigaciones y prácticas docentes de microencapsulación de sustancias de interés industrial.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar el prototipo de dispersor por inmersión
- Construir el prototipo de dispersor por inmersión.
- Determinar los parámetros de funcionamiento del equipo.
- Evaluar el funcionamiento del equipo por medio de la encapsulación de sustancias de interés industrial.
- Examinar las cápsulas obtenidas empleando un microscopio óptico.

## **JUSTIFICACIÓN**

## **JUSTIFICACIÓN**

La industria de alimentos, la farmacéutica, industrias químicas y otras; elaboran distintas matrices de interés comercial como jugos, lácteos, cosméticos, medicamentos, productos de limpieza y desinfección, que pueden verse mejorados con la incorporación de ciertas sustancias de valor añadido. La actividad biológica de algunos compuestos es de muy corto plazo, teniendo pérdida parcial o total de sus propiedades funcionales y, en consecuencia, limitando la aplicación en distintos productos de consumo humano.

La microencapsulación al consistir en el aislamiento de sustancias activas en estado líquido, sólido o gaseoso, para obtener productos con una forma esférica y un tamaño micrométrico, permite que el material activo, es protegido por una membrana del medio, facilitando su manejo y permitiendo una liberación paulatina y prolongada del mismo.

El diseño y construcción de un homogeneizador del tipo dispersor para su posterior implementación en la microencapsulación de sustancias de interés industrial, permite a los estudiantes de ingeniería química de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU) incursionar en un área relativamente nueva de la carrera y que, cada día obtiene mayor atractivo por el sector industrial y el académico. De igual modo, facilita la realización de ensayos a los estudiantes de farmacia. Con este equipo, se pretende crear una línea de investigación nueva en el país y de poca incursión en el caribe, lo que coloca a la UNPHU como un modelo a seguir en el área de las ingenierías.

**ALCANCE**

## **ALCANCE**

El alcance de este proyecto abarca el desarrollo de un equipo dispersor que permita a los estudiantes de ingeniería química y farmacia realizar experimentos de encapsulación y microencapsulación de sustancias de interés para la industria de alimentos, farmacéutica, cosmética, entre otras. Adicional a esto, el equipo es útil en la elaboración de proyectos de investigación del área de ingeniería química en consorcio con FONDOCYT.

**PRIMERA PARTE**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO I ANTECEDENTES**

Una de las prioridades de la industria, es la obtención de un mejor mezclado y homogeneizado de los compuestos fabricados en el sector farmacéutico, para ofrecer productos de alta calidad y efectividad, que cumplan su función en el tratamiento de los pacientes que lo utilizan. (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J., 2016).

Con el paso del tiempo, las manufactureras notaron que los mezcladores convencionales no son convenientes debido al tiempo requerido para realizar dicha función, al elevado consumo de energía, al gran tamaño que ocupan y la poca facilidad de operación. Estas son algunas de las razones por las que se decide optimizar los mezcladores, pasando de los convencionales a uno de dispersión.

Toral (2014) define el mezclador de dispersión como una de las últimas evoluciones del mezclador o agitador convencional, al ser un equipo que realiza la dispersión de sólidos en líquidos, emulsiona líquidos inmiscibles, rompe sólidos y aglomerados, y otras aplicaciones que los agitadores no logran cumplir. Una de las características que hacen al mezclador de dispersión diferente del tradicional mezclador-agitador es el uso de motores de velocidades mayores en comparación a estos.

### **I.1 Encapsulación**

En primer lugar, hay que esbozar lo que es una capsula, según Pimentel (2009) estos materiales consisten en membranas delgadas y de un material fuerte que puede ser permeable o impermeable, generalmente de forma esférica que contiene un núcleo sólido o líquido.

Existen varios tipos de cápsulas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Capsulas duras: formadas por dos piezas cilíndricas abiertas en uno de sus extremos y cuyo fondo es semiesférico.
- Capsulas blandas: son de una sola pieza, selladas herméticamente, con una cubierta exterior hecho de gelatina, agua y plastificante que brindan elasticidad y suavidad a las paredes.
- Capsulas con cubierta estérica: las capsulas pueden recubrirse para resistir la liberación del principio activo en el fluido gástrico cuando es importante evitar la irritación de la mucosa gástrica.
- Capsulas de liberación prolongada: se formulan de tal manera que la liberación del principio activo sea en tiempo prolongado después de su administración.
- Obleas: llamadas también sellos, capsulas amiláceas o discos. Se preparan a base de harina y agua.
- Perlas: también sirve para administrar líquidos oleosos, aunque a veces se incorporan ingredientes sólidos en el aceite.

Desai y Park (2005) definen la encapsulación como una tecnología de empaque en miniatura de materiales sólidos, líquidos o gaseosos contenidos en capsulas que pueden liberar su contenido de forma controlada bajo condiciones específicas. De igual forma hacen mención que esta técnica se ha empleado en la industria alimenticia por más de 60 años en procesos que incluyen ingredientes como acidulantes, grasas, saborizantes, pasas, nueces hasta productos de confitería.



Lozano (2010), relata que el origen de la encapsulación data del año 1931 con el descubrimiento de la técnica conocida como coacervación que fue objeto de múltiples variaciones durante los años 40 y su aplicación más importante fue dirigida a la encapsulación de colorantes para la elaboración del papel. Años más tarde, la encapsulación encontró aplicaciones más relevantes en el campo de la alimentación, como por ejemplo en la encapsulación de aromas, vitaminas, entre otras y de la agricultura, especialmente en la encapsulación de pesticidas y fertilizantes.

Pedroza (2002) indica que en la actualidad la encapsulación se aplica para preservar y/o proteger numerosos ingredientes industriales; por su parte Lakkis (2007) sostiene que los materiales que podemos encapsular son los siguientes: saborizantes, colorantes, ácidos, reguladores, agentes antimicrobianos, nutraceúticos y terapéuticos, vitaminas, minerales, edulcorantes, enzimas, levaduras, aceites esenciales, entre otras.

## **I.2 Microencapsulación**

Según el tamaño de las cápsulas, la encapsulación puede ser:

- Nanoencapsulación: Cápsulas de escalas nanométricas. Morales et. Al. (2017) relatan que existe una variedad de métodos desarrollados para la formulación de nanopartículas, clasificándose principalmente por su función: procesos con reacción de polimerización como son emulsión orgánica o acuosa y polimerización interfacial o si se obtienen directamente de una macromolécula o polímero preformado, por ejemplo, los Preformado sintético, polímeros naturales y desolación de macromoléculas. Actualmente los procesos de nanoencapsulación están a nivel de investigación debido a los elevados costos que representa el desarrollo a gran escala.

- Microencapsulación: Capsulas observadas a escalas micrométricas. Parras (2011) expone que la técnica de coacervación es considerada el método original de microencapsulación. Martínez (2018) narra en su trabajo sobre los primeros procesos en donde se utiliza la técnica de microencapsulación en que se desarrolla en los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte empleando gelatina como agente encapsulante. (Castillo, J. I. M., 2018).

En la industria Cosmética y de perfumes: se emplean microcápsulas para contener sustancias olorosas que son liberadas en el perfume al frotar suavemente tras su aplicación. (Fuchs et al., 2006). En la agricultura se utiliza la microencapsulación para elaborar algunos insecticidas, fungicidas y en los fertilizantes de cesión lenta. (Lozano, 2009). En la industria alimentaria la técnica se utiliza con la finalidad de elaborar productos funcionales y nutracéuticos. (Sanguansri & Agustín, 2010). En farmacia se consigue una liberación sostenida o controlada del principio activo a partir de la forma farmacéutica. (López, 2010). Siendo los anteriores solo algunos pocos ejemplos de las diversas aplicaciones que tienen las microcápsulas.

## **CAPÍTULO II MEZCLADORES**

En este capítulo se presentan los mezcladores de dispersión, los homogeneizadores y su clasificación. Asimismo, se perfila la definición de encapsulación y la dependencia del método con el tamaño de las partículas. Por último, se observan las diferentes técnicas de microencapsulación que existen siendo la de dispersión-coacervación la de interés para este trabajo de grado.

### **II.1 Mezclador Dispensor**

El mezclador de dispersión se utiliza para mezclar, también dispersar, homogeneizar, solubilizar, suspender y descomponer sólidos. El rendimiento de cada mezclador con rotor / estator es mejor que el de un mezclador tradicional y puede reducir el tiempo de procesamiento hasta en un 90%, mejorando así la calidad, la consistencia de la mezcla y la eficiencia del proceso. (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016)

Hurtado y Benenaula (2016) expresan que un mezclador dispensor por inmersión es aquel que: procesa de 1 a 2000 mililitros, elimina aglomerados, produce emulsiones y suspensiones estables, disuelve rápidamente los sólidos y acelera las reacciones.

## II.2 Tipos de Mezcladores Homogeneizadores

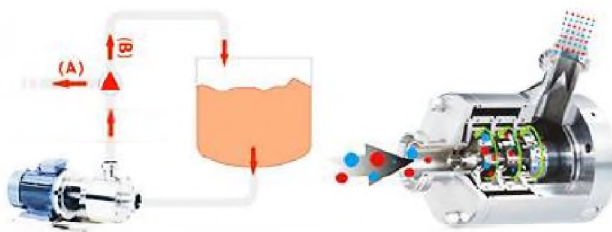
Actualmente existen una gran variedad de mezcladores homogeneizadores que se pueden dividir en dos grupos:

- Mezcladores en línea
- Mezcladores por lotes

### II.2.1 Mezcladores en línea

Hurtado y Benenaula (2016) exponen que este tipo de mezclador se caracteriza por tener el tanque o depósito de materiales separado de la cámara de mezcla, facilitando así la línea de producción alta.

**Figura 1. Mezclador en línea.**



Fuente: Ecuador, Diseño y Construcción de un Homogeneizador por Inmersión de Alto Cizallamiento, para la Empresa Formalab, (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016)

## **II.2.2 Mezcladores por lotes**

Los mezcladores por lotes se caracterizan por realizar el proceso de mezclado con el cabezal de trabajo sumergido dentro del recipiente, tienen un sistema de elevación hidráulico, eléctrico o mecánico que permite el seguro ingreso y retiro del recipiente. (silverson, s.f.) En la figura 2, se presentan algunos tipos de mezcladores homogeneizadores por lote.

### **II.2.2.1 Mezcladores de inmersión con propósitos múltiples.**

Estos mezcladores se pueden instalar de manera flexible en pisos de edificios hidráulicos y móviles, lo que les permite moverse entre contenedores para un procesamiento de múltiples etapas. Cada máquina utiliza un cabezal de rotor / estator intercambiable especial (ver figura 2-A).

### **II.2.2.2 Mezcladores de laboratorio**

La unidad de mezcla se puede subir y bajar fácilmente a través del dispositivo de control, mejorando así la limpieza y la fiabilidad. Son modelos con baja capacidad de producción desde 1 ml hasta 12 litros necesarios para experimentos y pruebas de laboratorio (ver figura 2-B).

### **II.2.2.3 Mezcladores de aire comprimido**

Tiene la misma función que el mezclador de laboratorio, excepto que es accionado por un motor de aire comprimido intrínsecamente seguro y se puede conectar al cabezal de trabajo del mezclador de laboratorio (ver figura 2-C).

#### **II.2.2.4 Mezcladores con unidad sellada**

Consiste en una unidad sellada que está diseñada para ser utilizada con materiales especiales y debe evitar todo tipo de contaminación del aire. Además, también cuentan con otros componentes que permiten trabajar al vacío. Son mezcladores de producción a pequeña escala (ver figura 2-D).

#### **II.2.2.5 Homogeneizadores ultrasónicos**

La energía ultrasónica es un método eficaz para aplicar una alta fuerza de corte y romper los aglomerados de polvo / líquido o mezclas de líquido / líquido, que pueden producir productos finales extremadamente finos con tamaño uniforme (ver figura 2-E).

Figura 2: Tipos de homogeneizadores.



De Inmersión con Propósitos

Múltiples



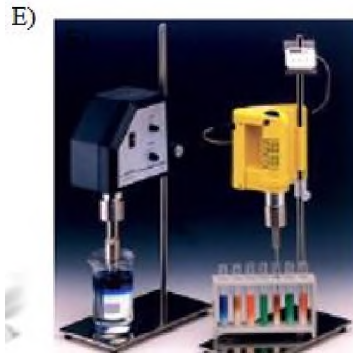
De Laboratorio



De Aire Comprimido



Con Unidad Sellada



Ultrasónicos

Fuente: Ecuador, Diseño y Construcción de un Homogeneizador por Inmersión de Alto Cizallamiento, para la Empresa Formalab, (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016)

### **II.3 Procesos que realizan los homogeneizadores**

En este acápite se habla de los procesos que realizan los homogeneizadores en una sola pasada, procesos como combinación, emulsificación, disolución, homogenización, desaglomeración y reducción de partículas, al tiempo que se trata la encapsulación y la microencapsulación, haciendo énfasis en el tamaño de las cápsulas debido a los métodos que se aplican para la obtención de las mismas, siendo la última técnica, la de microencapsulación, la de interés de este estudio.

#### **II.3.1 Combinación**

Cuando se combinan líquidos de viscosidad similar, el agitador proporciona resultados satisfactorios. Sin embargo, cuando hay una diferencia considerable en la viscosidad entre los dos líquidos, el agitador tiende a mover los dos líquidos sin mezclarlos realmente y lleva mucho tiempo mezclar los dos líquidos de manera uniforme.

#### **II.3.2 Emulsificación**

La clave para producir la emulsión es obtener el tamaño de esfera más pequeño posible. Cuanto más rápido se introduce la mezcla, más gotas de suspensión se reducen, dando como resultado una mini emulsión estable.



### **II.3.3 Homogenización**

Consiste en agitar hasta no distinguir los componentes de la mezcla. La homogeneización de muchos productos se puede realizar mediante un mezclador de dispersión. En la mayoría de los casos, el tamaño de partículas finas con un radio de 0,5 a 5 micrones puede cumplir con los requisitos del proceso.

### **II.3.4 Disolución**

El homogeneizador logra disolver una variedad de materiales, incluidos el azúcar y la sal en la industria alimentaria, gomas y polímeros en las industrias química y petroquímica. Esto se puede lograr porque la rotación de alta velocidad del rotor extrae el líquido y el material sólido ingresa al cabezal. Antes de eso, el material sólido sufre una fuerte vibración en el orificio entre el rotor y el estator antes de ser descargado a través del estator.

### **II.3.5 Desaglomeración**

Cuando el polvo se introduce en el líquido, los aglomerados formados dificultan la desaglomeración de los mezcladores tradicionales. La acción de alta velocidad del cabezal de trabajo del rotor / estator dispersa los grumos.

### **II.3.6 Reducción de partículas**

En una operación, la acción del cabezal de trabajo del rotor / estator descompone uniformemente los materiales sólidos y semisólidos en un tamaño bajo de micras.

## **II.4 Encapsulación**

La encapsulación se define como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa, esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofílicas y/o hidrofóbicas. (Parra Huertas, 2010).

## **II.5 Microencapsulación**

La microencapsulación es una técnica mediante el cual partículas de una sustancia de interés están recubiertas por uno a varios materiales de pared o red polimérica para protegerlas de degradación por factores externos o para ser liberadas de forma gradual en la matriz seleccionada o deseada. El tamaño de las partículas es de unos pocos micrones.

## **II.6 Tipos de microencapsulación**

Existe una variedad de tecnologías que se pueden utilizar para desarrollar el proceso de microencapsulación. La selección de la tecnología apropiada depende de las propiedades fisicoquímicas y/o funcionales del material de envasado y de la aplicación final deseada para asegurar la biodisponibilidad, funcionalidad e incluso facilidad de incorporación en los alimentos sin cambios en las propiedades sensoriales del compuesto activo. Las tecnologías comunes que se utilizan ampliamente en la industria alimentaria para los procesos de microencapsulación son los métodos químicos, como son la coacervación, la co-cristalización, la polimerización interfacial, la gelificación iónica, la incompatibilidad polimérica, atrapamiento de liposomas e inclusión molecular y los métodos mecánicos que son: la extrusión, secado por congelamiento/enfriamiento, liofilización, secado por aspersión y dispersión-reticulación y dispersión-técnica de coacervación.

## **II.6.1 Métodos químicos**

A continuación, se presentan los detalles de los métodos químicos más utilizados, entre los que se encuentran: la coacervación, la co-cristalización, la polimerización interfacial, la gelificación iónica, la incompatibilidad polimérica, atrapamiento de liposomas e inclusión molecular.

### **II.6.1.1 Coacervación**

La coacervación se presenta en soluciones coloidales y consiste en la separación de partículas coloides, que luego se aglomeran en una fase líquida separada llamada coacervado (Madene, Jacquot, Scher, & Desobry, 2006). Pedroza Islas explica que en general el proceso de coacervación consiste en tres pasos (Islas, 2002):

1. Formación de un sistema de tres fases químicamente inmiscibles: una fase líquida o fase continua, un material a recubrir y un material de cobertura o de pared.
2. Deposición del material polimérico líquido que formará la cubierta sobre el material a cubrir: el polímero se deposita en forma de pequeñas gotas líquidas del coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en el líquido.
3. Solidificación de la cubierta: por una gelificación se forman las cápsulas finales.

### **II.6.1.2 Co-cristalización**

Es un método relativamente nuevo y simple que ofrece una alternativa económica y flexible para manejar y preservar diversos componentes activos utilizados en la industria alimentaria (Sardar & Singhal, 2013). López-Córdoba et al. (2015) señala que, en este proceso, el compuesto activo es incorporado en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea; la co-cristalización ocurre por concentración de jarabes de sacarosa por evaporación a altas temperaturas hasta supersaturación, en donde se mantiene el material a encapsular con agitación constante; en este punto, la tasa de formación de cristales es tan alta que permite una nucleación y aglomeración del producto. Esto se evidencia por la turbidez observada en el jarabe debido a la formación de aglomerados irregulares.

Parras Huerta (2011) expone que, la estructura del cristal de sacarosa puede ser modificada para formar agregados de cristales muy pequeños que incorporan jugos de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes y azúcar morena; sin embargo, durante el proceso, el compuesto a encapsular es transformado en gránulos secos y algunos compuestos termosensibles pueden ser degradados.

### **II.6.1.3 Polimerización interfacial**

En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interfaz de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana que dará lugar a la pared de la microcápsula (Islas, 2002).

Parras en su revista relata que, este proceso tiene lugar en tres pasos (Parras, 2011):

1. Dispersión de una solución acuosa en una fase orgánica para producir una emulsión de agua en aceite.
2. Formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior.

3. Separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación.

#### **II.6.1.4 Gelificación Iónica**

El fundamento de esta técnica consiste en atrapar un compuesto activo y posteriormente liberarlo a través de cambios en la fase de gel. Kurozawa & Hubinger, (2017) explican que la microencapsulación por gelificación iónica o gelificación ionotrópica comienza con una solución polimérica acuosa, es decir, polielectrolitos de cargas opuestas como son: el alginato, la pectina de bajo metoxilo, la quitina, el quitosano que contiene iones divalentes de baja masa molecular como el calcio que interactúan entre sí, para reaccionar y formar un gel insoluble.

Habitualmente en la gelificación iónica se utiliza alginato como componente de la membrana en combinación con iones divalentes como el calcio para inducir la gelificación. Esta interacción da lugar a un entrecruzamiento iónico entre los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y las unidades de ácido glucurónico del alginato, dando lugar a un gel conocido como “modelo de caja de huevo”. Los iones se siguen difundiendo en el alginato, logrando que el gel se vaya endureciendo con el tiempo. Cabe mencionar que es posible manipular la dureza del gel formado modificando las condiciones de elaboración digase pH, concentración de iones, concentración de alginato, etc. (Islas, 2002).

#### **II.6.1.5 Incompatibilidad Polimérica**

En este método se utiliza el fenómeno de separación de fases en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente. El material para encapsular interacciona sólo con uno de los dos polímeros adsorbiéndose en la superficie y formando una película que lo engloba. Este proceso se lleva a cabo en solventes orgánicos y cuando el material a encapsular es sólido (Parras, 2011).

#### **II.6.1.6 Atrapamiento de Liposomas**

Según Azzi, Auezova y Greige (2018), es un método de encapsulación de lípidos no tóxico basado en la formación de una bicapa de fosfolípidos. Separar dos cámaras de agua; por su estructura se consideran moléculas antivíricas, lo que les permite atrapar compuestos hidrófilos e hidrófobos. Esta técnica de elaboración de referencia emplea un evaporador rotatorio, sin embargo, existen otras técnicas como la diálisis y el secado por aspersión. Las cápsulas formadas con esta tecnología de encapsulación generalmente se destruyen fácilmente por una concentración crítica de iones de calcio o por cambio de pH. Sin embargo, a veces la hidrofobicidad de las cápsulas limita sus aplicaciones. (Islas, 2002).

#### **II.6.1.7 Inclusión Molecular**

En este método una molécula pequeña se acopla y está rodeada por la red del otro, que es el agente encapsulante y en la mayoría de los casos, es la ciclodextrina (Parras, 2011). Madene (2006) expone que este biopolímero se utiliza porque tiene una cavidad hidrofóbica interna y puede contener todo o parte de varios compuestos aromáticos, además su superficie externa tiene un carácter hidrofílico.

#### **II.6.2 Método Mecánico**

Los métodos mecánicos en detalles se presentan a continuación: extrusión, secado por congelamiento/enfriamiento, liofilización, secado por aspersión, Dispersión-reticulación y dispersión-técnica de coacervación.

### **II.6.2.1 Extrusión**

Se considera que la extrusión es la segunda técnica más utilizada en microencapsulación. Su base consiste en pasar una emulsión de sustancias activas y de pared a través de una matriz de alta presión como un equipo extrusor y extruir la mezcla en forma de esferas o pellets en un baño de disolvente frío que contiene iones iónicos divalentes. El exterior se gelifica y el material de la pared se vuelve un sólido amorfo, cubriendo el compuesto activo (Parras, 2011). Las microcápsulas formadas son desecadas para endurecer la masa extruida; el líquido más utilizado para el proceso de deshidratación y endurecimiento es el alcohol isopropílico (Madene et al., 2006).

Los polisacáridos que se usan ampliamente como encapsulantes en esta técnica debido a su baja permeabilidad al oxígeno son el alginato y las pectinas (Wang et al., 2013) y han sido empleados para encapsular aminoácidos, vitaminas, minerales, antioxidantes, colorantes, enzimas y edulcorantes para aplicarse a diversas ramas de la industria (Pan-utai & Iamtham, 2018).

### **II.6.2.2 Secado por Congelamiento/Enfriamiento**

Según Parras (2011) esta tecnología consiste en dispersar el material a encapsular en grasa fundida o cera que es el agente encapsulante y dispersarlo en una neblina por aire frío, esta reducción de temperatura hace que la grasa de la pared solidifique, mientras que el principio activo queda atrapado en el recipiente, es decir, en el centro de la cápsula.

### **II.6.2.3 Liofilización**

En esta técnica, el agua se elimina de una solución acuosa por sublimación, dejando un producto deshidratado. Durante el proceso de sublimación, el producto seco se vuelve poroso. Sin embargo, si la temperatura de fusión es más alta que la temperatura de transición vítrea del producto seco, el producto colapsará o encogerá. (Charoenviriyakul et al., 2018; Ravnik et al., 2018). La transición vítrea es el cambio reversible a un polímero amorfo o a regiones amorfas de un polímero semi-cristalino desde una condición viscosa o elástica a una condición rígida y relativamente quebradiza.

### **II.6.2.4 Secado por Aspersión**

Esta técnica se basa en la preparación de una mezcla líquida, es decir, emulsión/suspensión que contenga el compuesto a encapsular y un polímero que es el agente encapsulante, la suspensión es introducida a un equipo conocido como secador por aspersión, en donde al entrar en contacto con el aire caliente se logra la evaporación instantánea del agua, permitiendo que el principio activo presente quede atrapado dentro de una matriz de material encapsulante (Labuschagne, 2018).

### **II.6.2.5 Dispersión-reticulación y Dispersión-técnica de coacervación**

Martins, Poncelet, Rodrigues y Renard (2017) relatan en su artículo “*Técnicas de encapsulación de aceite utilizando alginato como agente encapsulante: aplicaciones e inconvenientes*” que las técnicas de dispersión consisten en la generación de gotitas mediante la dispersión de un líquido en otro líquido utilizando fuerzas de agitación. En el proceso de encapsulación de aceite, primero se forman gotas y luego se endurecen para atrapar la fase de aceite. El proceso de endurecimiento de las gotas puede ser provocado por dos mecanismos diferentes: reticulación y coacervación.



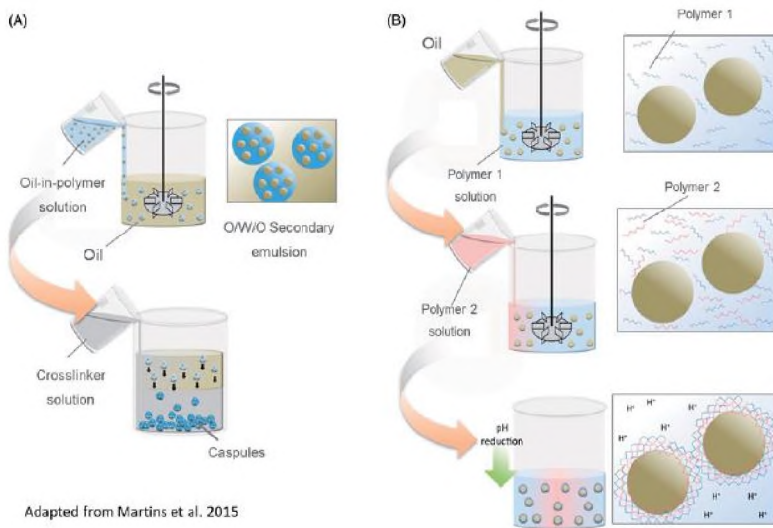
En los procedimientos de encapsulación de aceite mediante reticulación por dispersión, la emulsión de aceite en agua se forma mediante la emulsión de una solución de aceite y polímero, luego se dispersa en un baño de aceite mediante agitación mecánica, lo que da como resultado un aceite en agua en aceite. En la última etapa, la emulsión secundaria se mezcla con una solución de agente de reticulación, lo que resulta en la reticulación de las cadenas de polímero.

Después de la reticulación completa del polímero, las cápsulas formadas se asientan por fuerzas gravitacionales o centrifugas Figura 3 (A).

En la dispersión-técnica de coacervación, el aceite se emulsiona con una solución de polímero cargado formando una emulsión de aceite en agua. Luego se agrega una solución de otro polímero cargado. El pH de la mezcla disminuye y el polímero 2 adquiere una carga neta opuesta al polímero 1. Los polímeros interactúan entre sí formando complejos que se depositan alrededor de las gotitas de aceite. Las gotitas de aceite quedan atrapadas por los complejos poliméricos formando capsulas muy pequeñas de 2-50  $\mu\text{m}$  con una estructura núcleo-capa.

El par de polímeros generalmente utilizados en este proceso son: gelatina/ goma arábica, gelatina/ carboximetilcelulosa, alginato/ polilisina, alginato/ quitosano y albumina/ goma arábica.

**Figura 3: Encapsulación de aceite por dispersión-reticulación y dispersión-técnica de coacervación.**



Adapted from Martins et al. 2015

Fuente: Técnicas de encapsulación de aceite utilizando alginato como agente encapsulante: aplicaciones e inconvenientes. Revista de microencapsulación. (Martins, E., Poncelet, D., Rodrigues, RC y Renard, D., 2017).

**SEGUNDA PARTE**  
**DISEÑO DEL EQUIPO**

## **CAPÍTULO III DISEÑO DEL EQUIPO**

Este capítulo se concentra en el diseño de la máquina de dispersión, cuyo principal objetivo es cumplir con todos los requisitos necesarios para el funcionamiento adecuado del equipo.

El presente prototipo toma como bases del diseño los sistemas acuosos/oleosos observados en el artículo “*Essential Oil Encapsulations: Uses, Procedures, and Trends*” escrito por Majeed et al. (2015), en el que revisan distintas encapsulaciones del tipo aceite/acuoso. Adicional a este, se incorporan ideas obtenidas de “*Formación de Microcápsulas de Tamaño Controlado por Gelación Iónica Utilizando Mezclas Biopoliméricas Binarias*” por González, Tarón y Morón (2015). Y, por último, se considera el trabajo de Calero et al. (2008) bajo el título “*Elaboración y Caracterización de microcápsulas gastrorresistentes de Diclofenac obtenidas por Gelificación Iónica*”. Sumado a esto, se examinan las máquinas disponibles en el mercado como el *L5 series*. Todas las consideraciones anteriores atendiendo a la técnica de interés de microencapsulación por coacervación.

### **III.1 Diseño estándar de un homogeneizador del tipo L5 series**

Briceño, Rojas, y Avendaño (2012) presentan los siguientes componentes como los característicos bien de homogeneizador *L5 series*:

**Capacidad:** 1ml hasta 12 litros

**Unidad de motor:** Robusta carcasa de dos piezas diseñada para operaciones frías, silenciosas y continuas.

**Motor:** 750W (1HP) 220 voltios, monofásico con 110 voltios opcional, 50/60 Hz, Velocidad nominal máxima 8000 rpm y 6000 rpm bajo plena carga.

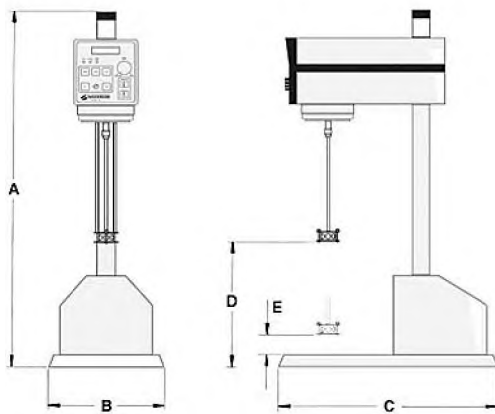
**Control electrónico de velocidad:** Control de velocidad infinitamente variable con interruptor arranque/parada integrado.

**Soporte de banco con subida y bajada eléctrica:** La unidad de mezclado puede subirse y bajarse sin esfuerzo utilizando los pulsadores en la unidad del motor.

**Construcción:** Todas las partes sumergibles son de acero inoxidable grado 316 con excepción del cojinete que puede ser de aleación de bronce o de PTFE.

**Acoplamientos de Mezclado:** Más de 40 cabezales disponibles

**Figura 4: Homogeneizador Estándar Serie L5.**



Fuente: Briceño María Rojas Orlando, Rojas Orlando, y Avendaño Jorge, «Fundamentos de Reología». 2012.

### **III.2 Condiciones que debe cumplir el equipo**

- La potencia del motor debe alcanzar la velocidad máxima requerida para la formación de las microcápsulas de 2750 rpm (González, Tarón y Morón, 2015).
- La capacidad de mezclado es de 300 mL, teniendo presente que el equipo será utilizado para prácticas docentes.
- El tamaño general del homogeneizador depende del espacio que ocupe en el laboratorio y que sea de fácil movilidad.
- El material de construcción debe ser químicamente inerte.
- Fácil acceso a todos sus componentes para condiciones de limpieza.

**TERCERA PARTE**

**CÁLCULOS Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

## **CAPÍTULO IV CÁLCULOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

### **IV.1 Cálculos para el diseño**

Los siguientes criterios se toman como base para llevar a cabo el diseño:

- Se utiliza un motor DC con 3 velocidades, 2086.64, 1926.29 y 1850.48rpm, siendo 2750 rpm la velocidad máxima, para adaptarlo al homogeneizador.
- El tamaño máximo de la hélice es de 1<sup>1/2</sup> pulgadas, en función al contenedor previsto “*Beaker Berzelius*”.

### **IV.2 Cálculo del número de Reynolds, potencia consumida y eficiencia.**

La determinación del número de Reynolds permite comprobar que el motor cumple con la potencia necesaria para la realización de los ensayos. En los cálculos se emplea el número máximo de revoluciones del motor que equivale a 2750 rpm. Este se determina aplicando la ecuación siguiente (McCabe, 2007):

$$Re = \frac{nD_a^2\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Donde:

$n$ , la velocidad (rps)

$\mu$ , viscosidad (kg/ms)

$D_a$ , diámetro del impulsor (m)

$\rho$ , densidad (kg/m<sup>3</sup>)



Análisis Dimensional:

$$Re = \frac{(rpm / \min \cdot s) (m^2) \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\frac{kg}{ms}} = \frac{(rps) (m^2) \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\frac{kg}{ms}}$$

Datos:

$$n = \frac{2750rpm}{60s} = 45.83rps,$$

$$D_A = (1.5pulg \cdot 0.0254m) = 0.0381m,$$

$$\rho = \frac{998kg}{ms},$$

$$\mu = 8.62 \times 10^{-4} kg/ms,$$

$$Re = \frac{45.83rps \times 1.45161^{-3} m^2 \times \frac{998kg}{m^3}}{8.62 \times 10^{-4} Pa \cdot s} \approx 77,023.47$$

$Re < 10$  es régimen laminar

$10 < Re < 10,000$  es régimen de transición

$Re > 10,000$  es régimen turbulento

Según Moncho Esteve, «Procesos de Mezcla en Flujos Turbulentos con Técnicas de la Mecánica de Fluidos Computacional o CFD» un Reynold turbulento indica un buen mezclado entre las sustancias y favorece el intercambio de agua entre ellos.

$$q = 0.92nD_a^3 \frac{D_t}{D_a} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Donde:

$q$ , Flujo total ( $m^3/s$ )

$n$ , la velocidad (rps)

$D_a$ , diámetro del impulsor (m)

$D_t$ , diámetro impulsor del tanque (m)

$\dot{m}$ , Flujo másico (kg/s)

Análisis Dimensional:

$$q = \left(\frac{1}{s}\right) (m^3) \left(\frac{mm}{mm}\right) = \frac{m^3}{s}$$

Datos:

$$n = 45.83rps,$$

$$D_A = 0.0381m,$$

$$D_A = (1.5pulg \cdot 25.4mm) = 38.1mm,$$

$$D_t = 69mm,$$

$$q = 0.92 \times 45.83 \frac{1}{s} (5.53 \times 10^{-5} m^3) \times \frac{69mm}{38.1mm} = 0.0042231 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m} = \frac{4.2231kg}{s}$$

Por lo que la potencia entregada según las ecuaciones de (McCabe, 2007) donde Alpha es un factor adimensional que en este caso vale 1:

$$P_{salida} = \frac{1}{2} \dot{m} (\alpha n D_a)^2 \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Donde:

$P_{salida}$ , Potencia consumida (W)

$\dot{m}$ , flujo másico (kg/s)

$\alpha$ , relación  $V'_{2}/u_2$

$D_A$ , diámetro del impulsor (m)

Análisis Dimensional:

$$P_{salida} = \left(\frac{Kg}{s}\right)(1/s^2)(m^2) = W$$

Datos:

$$m = 4.2231kg/s,$$

$$n = 45.83rps,$$

$$D_A = 0.0381m,$$

$$P_{salida} = (0.5) \left(\frac{4.2231kg}{s}\right) (9.8596)(1)(2100.3889rps^2)(1.45161 \times 10^{-3}m^2) = 63.48W$$

Calculado el parámetro anterior la eficiencia ( $\eta$ ) es:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{alimentación}} = \frac{63.48W}{100.00W} = 0.6348 = 63.48\%$$

Sabiendo que el motor entrega 100 W de potencia, y que el flujo turbulento disipa mucha energía en forma de calor es de esperar que la eficiencia ronde entre el 60 y 70%, además de que se requiere de por lo menos 10% extra sobre eficiencia óptima para asegurar el funcionamiento a largo plazo.

### IV.3 Comprobación de la Selección del Motor.

En el cálculo de la potencia requerida tenemos un valor de 63.48W, los homogeneizadores para microencapsulación trabajan en distintas velocidades y depende del rpm que necesite la muestra. Se seleccionó un motor eléctrico DC el cual está por encima de la potencia nominal calculada cumpliendo así los requerimientos de funcionamiento con una potencia nominal de 100W aumentando aproximadamente un 10% de la potencia calculada, para prever posibles inconvenientes de sobre carga en la mezcla. En la tabla 1 se detalla las características del motor seleccionado.

**Tabla 1. Placa del motor seleccionado.**

<i>Voltaje</i>	110V
<i>Potencia de entrada</i>	100W
<i>Potencia de salida</i>	63.48W
<i>Rango de velocidad</i>	1000-2750rpm

Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

### IV.4 Determinación velocidad del motor

Para la determinación de la velocidad del motor se realizan 25 mediciones con un tacómetro digital. El análisis estadístico de las mediciones obtenidas se realiza mediante el “criterio de Chauvenet” que permite determinar de manera cuantitativa si un dato es aberrante o atípico, dentro de un conjunto de datos (Taylor, 1997).

Los datos mostrados en la tabla 3 (ver anexos 3 para detalles de cálculos) muestran las mediciones de las revoluciones por minuto (RPM) del motor. De donde se determina estadísticamente que la primera velocidad del motor (1) es de  $2086.64 \pm 0.28$  rpm, la segunda (2)  $1926.29 \pm 0.14$  rpm y la tercera  $1850.48 \pm 0.17$  rpm.

**TABLA 2: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR.**

<i># Medición</i>	<i>Velocidad I (RPM)</i>	<i>Velocidad II (RPM)</i>	<i>Velocidad III (RPM)</i>
1	1872	1247	1735
2	1982	1906	1798
3	1946	1720	2274
4	1890	1753	1758
5	1946	2098	1947
6	3621	2000	1757
7	2242	1760	1139
8	3411	1759	1800
9	2769	2342	2074
10	1740	2172	2022
11	2862	1947	1948
12	2920	2024	1726
13	1262	1950	1153
14	1899	2776	2100
15	1755	1877	1977
16	1868	1802	2170
17	1872	1978	2419
18	1646	1761	2180
19	1945	1877	2127
20	1903	2102	1761
21	1872	2104	1761
22	1944	1759	1761
23	1237	1758	1869
24	2017	1759	1758
25	1745	-	1248

Nota: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

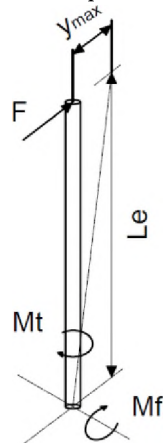
#### IV.5 Cálculo y Dimensionamiento del Eje Giratorio.

En este acápite se habla de las fuerzas aplicadas en eje como lo es el momento torsor y el trabajo que realiza el eje, estos cálculos son necesarios para evitar deformaciones en el equipo al momento de su puesta en marcha, adicional a esto, se encuentra el cálculo de las aspas de las hélices que depende del beaker que se utiliza para la microencapsulación y la velocidad a la que gira el eje.

##### IV.5.1 Fuerzas aplicadas al eje.

En la figura 5 se puede apreciar las fuerzas que actúan en el eje del homogeneizador, el eje va a estar sometido a momento torsor y más fuerzas que van a influenciar en el dimensionamiento del eje.

Figura 5: Fuerzas aplicadas sobre el eje.



. Fuente: Ecuador, Diseño y Construcción de un Homogeneizador por Inmersión de Alto Cizallamiento, para la Empresa Formalab, (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016)

#### IV.5.2 Momento Torsor

En la tabla 1 tiene la potencia nominal del motor seleccionado para la construcción del equipo, al igual que su velocidad. Sabiendo esto se puede calcular el momento torsor del eje, utilizando la ecuación 4.5 de (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016):

$$Mt = \frac{N_e}{\omega} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Donde:

Mt, Momento torsor. (N.m)

N<sub>e</sub>, Potencia del eje. (W)

ω, la velocidad angular (rad/s)

Análisis Dimensional:

$$Mt = \frac{kg \cdot m^2/s^3}{1/s} = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = N \cdot m$$

La velocidad del motor es 2750 rpm, equivalente a una velocidad angular de 287.81 rad/s y la potencia nominal del motor es igual a 100W. Remplazando estos valores en la ecuación (4.4), el momento flector es:

$$Mt = \frac{100W}{287.81 \frac{rad}{s}}$$

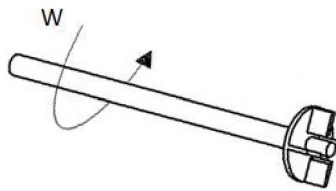
$$Mt = 0.3475N \cdot m$$



#### IV.5.3 Trabajo del eje.

En la figura 6 se puede percibir el trabajo del eje, este va a tener conmutaciones de velocidad en el giro.

Figura 6: Trabajo del eje.



Fuente: Ecuador, Diseño y Construcción de un Homogeneizador por Inmersión de Alto Cizallamiento, para la Empresa Formalab, (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016)

Para calcular el trabajo del eje, se aplica la ecuación 3.4 de (Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. 2016) la cual expresa que:

$$\dot{W}_{flecha} = Mt \cdot \omega \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Donde:

Mt, Momento torsor (N•m)

$\omega$ , Velocidad angular (rad/s)

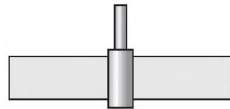
$\dot{W}$ , Trabajo (J)

$$\dot{W}_{flecha} = 100.01 J$$

#### IV.5.4 Cálculo de las aspas

Se ha seleccionado una turbina simple de pala recta, cuyas características son las siguientes:

**Figura 7. Turbina simple de pala recta.**



Fuente: México. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química (McCabe, 2007)

Las palas se distribuyen a 180 grados, para un total de dos palas. El grosor de la hoja corresponde a la cantidad de sustancias que se vaya a mezclar con el equipo.

- Paso del aspa

El diámetro efectivo de la hélice es de  $D = 0.0381\text{m}$ , entonces:

Perímetro de la hélice =  $\pi \cdot D$

Perímetro de la hélice =  $0.1196\text{m}$

Como cada aspa esta uniformemente distribuida a 180 grados, el paso del aspa será:

$$P = \frac{\pi \cdot D}{2} \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

Obtenemos un paso de:  $0.0598\text{m}$  Entonces quiere decir que la separación de cada una de las hélices es de  $5.98\text{mm}$ . Este valor nos va ayudar para la construcción

## **CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

Este capítulo emplea el diseño y los cálculos del homogeneizador del tipo L5 para describir el proceso de construcción del homogeneizador de dispersión. Explica cómo construir cada elemento de dicho equipo, las herramientas y máquinas que intervienen en la construcción de éste.

### **V.1 Materiales utilizados para la construcción del homogeneizador.**

Terminado el diseño del equipo, se requieren ciertos materiales para la construcción del mismo, a continuación, se presenta la lista de materiales y sus especificaciones en la Tabla 3.

**Tabla 3: Listado de los materiales utilizados para la construcción del homogeneizador.**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>ESPECIFICACION</b>
1	Plancha de acero inoxidable	15x14.5''
1	Aluminio	4x2''
1	Motor de abanico	100W
2FT	Eje de acero inoxidable	Diámetro = 1 <sup>1/2</sup> ''
9 <sup>1/2</sup> ''	Eje de acero inoxidable	Diámetro = 1 <sup>1/2</sup> ''
3/4''	Eje de acero inoxidable	Diámetro = 1/2''

Nota: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

## **V.2 Maquinas utilizadas para la construcción de los elementos del equipo.**

Las herramientas utilizadas en la construcción del homogeneizador son las siguientes:

- Pulidora
- Taladro
- Torno
- Soldadora

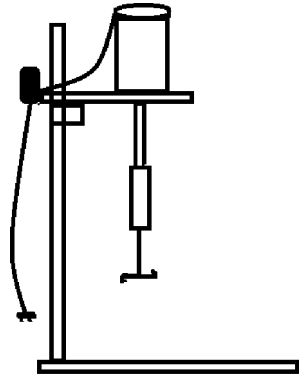
## **V.3 Adquisición de materiales y equipos**

Los materiales para la construcción se adquieren en locales dentro de nuestra ciudad, entre los proveedores se encuentra; Jaraba Import, que son uno de los abastecedores de materiales de acero inoxidable para la industria metalmecánica. En cuanto a las máquinas necesarias para procesar el homogeneizador, estas fueron provistas por un mecánico y un tornero, quienes se dedican a fabricar y ensamblar componentes mecánicos e industriales de alta precisión.

## **V.4 Construcción del homogeneizador**

En la figura 8 se muestra el conjunto del homogeneizador con todas sus partes. Para la elaboración de nuestro homogeneizador se construirán las siguientes partes:

**Figura 8: Conjunto del homogeneizador.**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

- Base
- Eje soporte
- Soporte motor
- Marco de fijación
- Tapa de motor y abanico de enfriamiento
- Eje giratorio
- Motor

#### V.4.1 Base

La base es el apoyo del equipo, está hecha de acero inoxidable en forma rectangular con medidas de 15x14.5''. Tiene además dos ribetes tipo soporte de caucho en la parte inferior lo que no permite que el equipo vibre, como se puede ver en la figura 9.

Los procesos de fabricación son los siguientes:

- Trazado y cortado del rectángulo considerado medidas finales.
- Fresado de rectángulo y sus radios en las esquinas.
- Lijado de la base.

**Figura 9: Base del homogeneizador.**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### V.4.2 Eje soporte

Eje es la parte móvil del equipo, donde todo el conjunto de mezclado se desplaza para conseguir la altura deseada, éste es de aluminio, tiene un diámetro 2x4''.

**Figura 10: Eje Soporte del homogeneizador**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### V.4.3 Soporte motor

Es el eje que soporta el peso del motor, es de acero inoxidable de diámetro 4x4''.

**Figura 11: Soporte del motor**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### V.4.4 Marco de Fijación y Manijas

Se forma una conexión de 180 grados entre el componente y el eje de soporte del motor. Está fabricado en acero inoxidable y aluminio y tiene un sistema ajustable con dos asas roscadas para colocar el eje en cualquier posición deseada. La figura 8 muestra un marco fijo con asas.

**Figura 12: Marco de fijación y manijas.**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)



#### V.4.5 Tapa del motor

La tapa del motor se utiliza para aislar el motor de los componentes que intervienen directamente en la mezcla de la sustancia y está fabricada de acero inoxidable. El proceso de fabricación es el siguiente:

- Moldea a un diámetro 6'' y taladrando varios huecos a los extremos de la tapa.
- Soldar todas las piezas colocando un tornillo ajustable para fijarla al eje soporte.

**Figura 13: Tapa del motor**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### V.4.6 Eje Giratorio

El eje principal y el eje del motor se conmutan, de modo que el rotor gira. Como se muestra en la imagen, está compuesto por un cono ajustable de acero inoxidable con diámetro de  $\frac{1}{4}$ ”, el extremo del ojo gira para acoplar el motor y el rotor, como se muestra en la figura 14.

**Figura 14: eje giratorio**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### **V.4.7 Motor**

En la figura 15 se presenta el motor tipo abanico el cual es el encargado de transmitir la potencia de giro al eje del rotor para producir la velocidad.

**Figura 15: Motor.**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

#### **V.5 Sistemas Mecánicos Principales**

En los sistemas mecánicos principales se presentan a continuación: el sistema de mezclado y el sistema de elevación.

### **V.5.1 Sistema de mezclado**

Los ingredientes utilizados para la elaboración de microencapsulación son los siguientes: carbohidratos, gomas, celulosa, proteínas, y lípidos.

El proceso es iniciado por un motor que transmite el movimiento al eje central, que está conectado al cabezal de trabajo y genera una alta velocidad hidráulica en el cabezal de trabajo, lo que resulta en una reducción del tamaño de las partículas. Este proceso tiene un tiempo de mezcla hasta que todos los materiales se homogeneizan y alcanzan la consistencia deseada. Cuando la mezcla es completamente homogénea se detiene el homogeneizador y se obtiene el producto final, este proceso se lleva a cabo para todos los productos a microencapsular.

### **V.5.2 Sistemas de elevación**

Una vez homogeneizados los componentes, se retira el recipiente y el cuerpo del homogeneizador equipado con el motor se eleva a través del sistema de control de velocidad. El sistema manual del homogeneizador tiene un dispositivo de ajuste de tornillo, que se encuentra en la columna del homogeneizador.

Dependiendo del tamaño del recipiente (de 100ml hasta 300ml), la guía se puede reajustar colocando el tornillo en la posición deseada en la columna.

## **V.6 Ensamble del Homogeneizador**

El ensamblaje de la maquina se divide en dos partes que son:

- Parte fija.
- Sistema móvil.

### **V.6.1 Parte Fija**

En la figura 16 se presenta la parte fija completa, que está constituida de la Base, ribetes de caucho, el eje soporte y el marco de fijación, y su proceso es el siguiente:

- Se colocan dos ribetes de caucho en la parte inferior de la base asegurada con un pegamento que el mismo trae.
- Se mide el tamaño de la base y luego se solda el eje soporte a la base, cuidando la estabilidad del soporte al momento de la soldadura.
- Colocar el marco de fijación en el eje del soporte, dejarlo en una posición intermedia y ajustarle con las perillas.

**Figura 16: Parte fija del homogeneizador.**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

## V.6.2 Sistema Móvil

Aquí se encuentra todo el sistema que interactúa en la homogeneización de las sustancias incluido el motor. El proceso de ensamblaje del sistema móvil es el siguiente:

- Se fija el motor a la base móvil.
- Se le inserta un cono para eje giratorio.
- Se le instala una tapa de acero inoxidable con un abanico de enfriamiento.

**Figura 17: Sistema Móvil**



Fuente: Santo Domingo. (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**CUARTA PARTE**  
**EXPERIMENTACIÓN**



## CAPÍTULO VI PRUEBAS DEL EQUIPO

### **Ensayos químicos**

El primer ensayo realizado es una modificación del procedimiento descrito en Passino, Bazzoni y Moretti (2004), se prepara una solución acuosa de gelatina al 10% a 40°C y una solución de sulfato de sodio al 40%. Se mezclan la gelatina y el aceite esencial (gardenia) en el dispersor (durante 10 minutos) y luego se agrega de forma paulatina la solución de sulfato de sodio y continúa dispersando durante una hora. Al finalizar, se adicionan 0.5 ml de formaldehído (37%) y se continúa agitando durante 3 horas; se filtra y se almacena para posterior análisis en microscopio.

El segundo ensayo, es una alteración del método descrito en “Elaboración y Caracterización de microcápsulas gastroresistentes de Diclofenac obtenidas por Gelificación Iónica” por Calero, Sanchez, Torrez, Hernann y López (2008). Se prepara una solución de alginato de sodio al 4% y una solución de cloruro de calcio al 10%. Se homogeniza la solución de alginato de sodio con 0.05g de paracetamol en el dispersor y luego se le agregan (por goteo) 10 ml de la solución de cloruro cálcico y se dispersa por 30 minutos más, luego se almacenan para posterior análisis en microscopio.

Los ensayos seleccionados son solo algunas de las posibles aplicaciones para el prototipo. Existe un sinnúmero de combinaciones posibles que permiten un rango dinámico bastante amplio para el mismo. Debajo una tabla que incluye, **pero no se limita a**, algunas sustancias posibles para la realización de experimentos:

**Comentado [ME1]:** Existe la posibilidad de hacer una separación entre los dos ensayos realizados, puede ser colocarlos en dos párrafos diferentes para evitar confusión.

**Tabla 4: Sustancias que se pueden microencapsular.**

Sustancia de interés	Red polimérica
Pigmentos	Almidón modificado
Aceites esenciales	Caseinato de sodio
Fármacos	Dextrina
Betalainas	Maltodextrina
Vitaminas	Albumina
Polifenoles	Ciclodextrina
Carotenoides	Alginato sódico
Tocoferoles	Genipina
Extractos	Gelatina
Microorganismos	Goma guar
Probióticos	Goma arábica

Nota: Santo Domingo. (Sanchez, I., Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

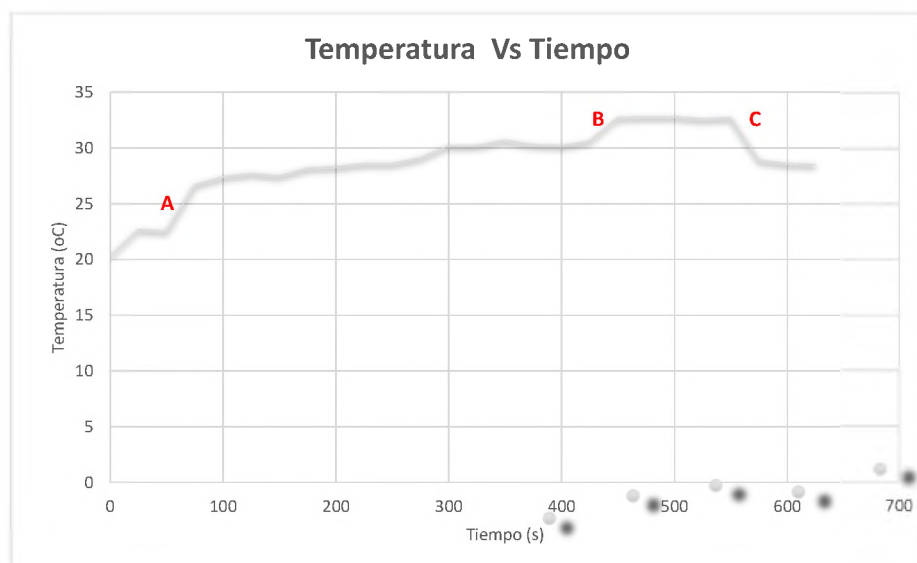
**QUINTA PARTE**

**RESULTADOS**

## CAPÍTULO VII RESULTADOS OBTENIDOS

### VII.1 Resultados

Figura 18: grafico de la temperatura vs tiempo de los ensayos realizados con el homogeneizador.

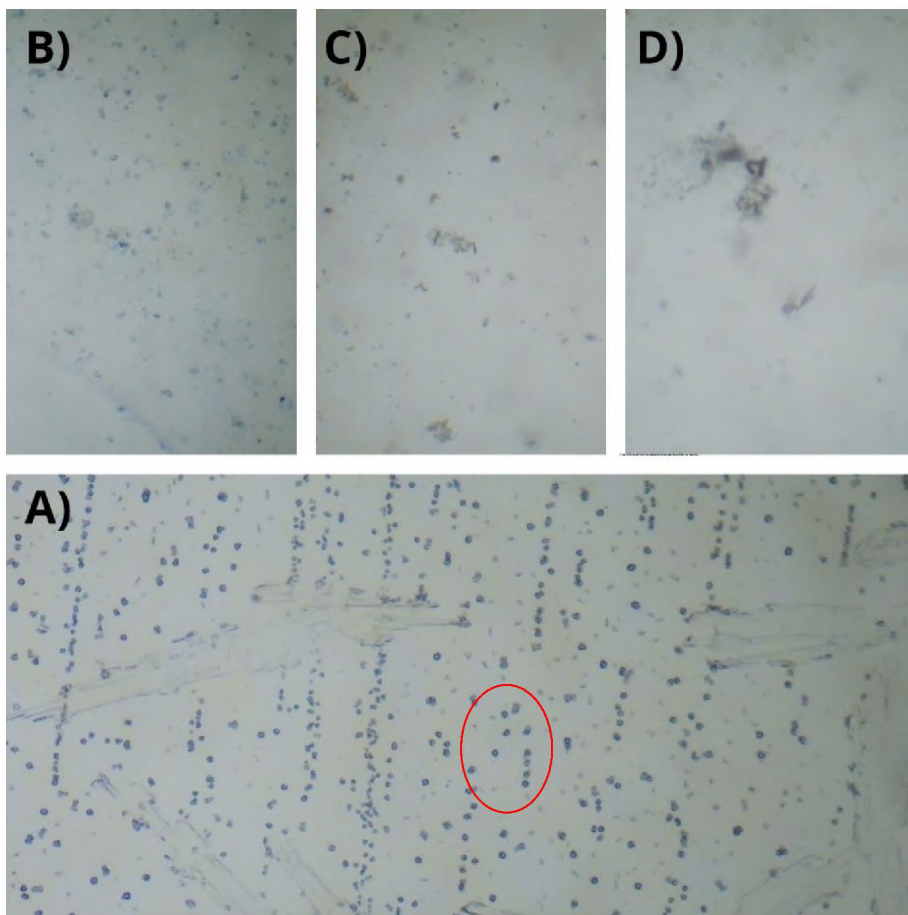


Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Imágenes microscopio:

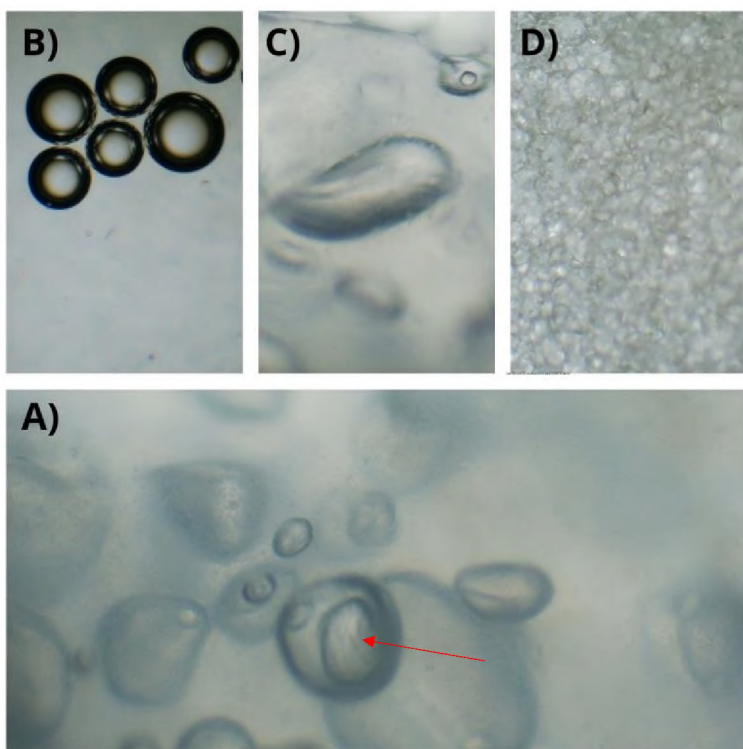
Las imágenes fueron obtenidas a magnificación 40x y en un microscopio marca .... Debajo un collage de las imágenes:

**Figura 19: Microcápsulas de alginato de sodio y Paracetamol**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 20: Microcápsulas de gelatina y aceite esencial**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

## VII.2 Análisis de los Resultados

En la figura 18, se contrastan como varía la temperatura del motor en relación al tiempo de trabajo del mismo. Se puede observar una diferencia de 4.2°C entre el intervalo A, que puede ser ocasionada por el tiempo que tarda el ventilador del equipo en entrar en funcionamiento. Otros cambios observables en la gráfica están en los segmentos B y C, que corresponden a cambios en las viscosidades de las muestras, incremento y disminución respectivamente. Por otro lado, el gráfico muestra un comportamiento adecuado que indica que el ventilador es el apropiado para el motor empleado en la construcción del prototipo.

En la figura 19 se aprecian las microcápsulas en la sección A, obtenidas en el filtrado de la mezcla Alginato/paracetamol (1 h en total, 2086.64 rpm). Puede apreciarse una disminución de estas en las secciones B, C y D. Esto se debe a liberación lenta del contenido pasadas las horas (Majeed et al., 2015). Estas microcápsulas presentan formas bastante homogéneas entre sí, cabe destacar que se forman capsulas con un tamaño considerable que pueden ser observadas sin la ayuda del microscopio. Sin embargo, estas son pocas en comparación con las formadas en el rango de los micrones.

En la figura 20, se observan las capsulas correspondiente a la mezcla gelatina/aceite esencial, que presentan variabilidad en formas y tamaño. De igual forma, presentan resistencia superior con el tiempo. Esto se debe a la adición de formol como sustancia limitante la liberación espontanea del contenido de las capsulas (Majeed et al., 2015). En la sección A se puede apreciar una microgota del aceite esencial contenida en la matriz polimérica de la gelatina. En la parte B, pueden observarse varias capsulas cuyo contenido ha sido liberado por efectos del tiempo. Por otro lado, en D, se observan capsulas contenidas en la matriz gelificada.

### VII.3 Rendimiento del equipo

El Rendimiento es igual:

Comentado [ME2]: Análisis de este cálculo de rendimiento??

$$\text{Rendimiento} = \left( \frac{\text{Cantidad de materia}}{\text{unidad de tiempo}} \right) (\text{eficiencia}) \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{gelatina}} = (8.3751)(0.6171)$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{gelatina}} = 0.51683$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{alginato}} = (1.1049)(0.6171)$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{alginato}} = 0.6818$$



**SEXTA PARTE**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES**

Diseñar y construir un instrumento dispersor por inmersión para realizar prácticas docentes de microencapsulación de sustancias de interés industrial.

Luego de contrastar los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado con los objetivos propuestos en sus etapas iniciales, se puede finalizar indicando las siguientes aseveraciones:

Se alcanza el diseño y construcción de un dispersor por inmersión que permite encapsular emulsiones de sustancias de interés industrial, que se pueden emplear en la práctica docente de los estudiantes de ingeniería química y de farmacia, y qué, a su vez sirve como apoyo a los intereses de investigación de dichas áreas.

Diseñar y construir el prototipo de dispersor por inmersión.

El diseño del prototipo es el adecuado para los fines previstos. Para la construcción del mismo, se decide el empleo de acero inoxidable por la alta resistencia química que este posee, además de la alta conductividad térmica, en comparación con los otros materiales considerados (fibra de vidrio y resina).

Determinar los parámetros de operación del equipo.

Al evaluar los parámetros de operación considerados para el funcionamiento correcto del prototipo, se resaltan: la temperatura, fuente de alimentación y velocidad de motor, volumen de muestra y horas de funcionamiento. La temperatura de trabajo del motor será dependiente de la viscosidad de la mezcla de trabajo. A mayor viscosidad, mayor la temperatura que alcanza el equipo. Siendo 32.8°C el máximo valor obtenido con las muestras tratadas. El motor opera con un voltaje de 110 V y ofrece tres velocidades graduables de: 2086.64, 1926.29 y 1850.48 rpm. El recipiente para contener la muestra debe ser del tipo Berzelius y los volúmenes de operación pueden oscilar entre los 100 y 300 ml. El equipo tiene la capacidad de trabajar durante más de 10 h corridas.

Evaluar el funcionamiento del equipo por medio de la encapsulación de sustancias de interés industrial.

La testificación del dispersor se lleva a cabo mediante el empleo dos mezclas: solución acuosa de alginato de sodio/paracetamol (fase acuosa/sólida) y emulsión de aceite esencial/solución de gelatina (fase oleosa/fase acuosa). La emulsión del aceite esencial presenta una alta viscosidad producto de la gelificación, provocando apenas un aumento de 2.1°C en la temperatura del motor.

Examinar las capsulas obtenidas empleando un microscopio óptico.

El estudio del precipitado y filtrado de las mezclas permite observar la presencia de capsulas en las imágenes obtenidas del microscopio. Indicando un funcionamiento exitoso del prototipo diseñado y construido en el presente escrito.

## **CAPÍTULO IX RECOMENDACIONES**

Luego de culminado el presente trabajo de grado y con las experiencias y aprendizajes obtenidos, se recomienda lo siguiente:

1. En caso de elaborar otro dispositivo, utilizar un motor que permita mayor variabilidad en la velocidad para la construcción de un segundo prototipo, que permita mayor dinámica al momento de realizar encapsulaciones.
2. Digitalizar el equipo por medio de dispositivos y softwares de lectura electrónica.
3. Experimentar con matrices poliméricas más complejas y otros tipos de procesos físico-químicos de coacervación.
4. En la medida de lo posible, caracterizar el tamaño de las partículas e integrarlas a una matriz para resaltar las cualidades de la misma.

**SEPTIMA PARTE**

**REFERENCIAS**

## **REFERENCIAS**

### **Libros y Tesis**

- Benita, S. (Ed.). (2005). *Microencapsulación: métodos y aplicaciones industriales*. Boston: Taylor & Francis Group's.
- Gaonkar, AG, Vasisht, N., Khare, AR y Sobel, R. (Eds.). (2014). *Microencapsulación en la industria alimentaria: una guía práctica de implementación*. Amsterdam: Elsevier.
- Laponov, SV, Shulaev, NS, Ivanov, SP y Suleimanov, DF (octubre de 2017). Modelado de procesos de emulsificación en mezcladores de disco rotatorio. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 87, No. 8, p. 082028). Publicación de IOP.
- McCabe, S. H. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Moncho Esteve, Ignacio José. «Procesos de Mezcla en Flujos Turbulentos con Técnicas de la Mecánica de Fluidos Computacional (CFD)». Universitat Politècnica de València, 2017. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/90573>.

## Artículos y Publicaciones

- Azzi, J., Jrajj, A., Auezova, L., Fourmentin, S., & Greige-Gerges, H. (2018). Novel findings for quercetin encapsulation and preservation with cyclodextrins, liposomes, and drug-in-cyclodextrin-in-liposomes. *Food Hydrocolloids*, 81, 328-340.
- Castillo, J. I. M. (2018). Evaluación de pectinas cítricas de toronja (*Citrus paradisi* var. Star Ruby) y mandarina (*Citrus reticulata* blanco var. Tangerina) como agentes encapsulantes de extractos acuosos de *Stevia rebaudiana* Bertoni.
- Calero, J., Sánchez, Y. F., Tórrez, R., Hernann, E., & López, K. (2008). Elaboración y Caracterización de microcápsulas gastroresistentes de Diclofenac obtenidas por Gelificación Iónica. *Universitas (León). Revista Científica de la UNAN-León.*, 2(1), 27-30.
- Charoenviriyakul, C., Takahashi, Y., Nishikawa, M., & Takakura, Y. (2018). Preservation of exosomes at room temperature using lyophilization. *International Journal of Pharmaceutics*, 553(1–2), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.10.032>.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>.
- González, R. E., Tarón, A., & Morón, L. B. (2015). Formación de Microcápsulas de Tamaño Controlado por Gelación Iónica Utilizando Mezclas Biopoliméricas Binarias. *Información tecnológica*, 26(6), 31-38.

- Kurozawa, L. E., & Hubinger, M. D. (2017). Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science*, 15, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.004>.
- Labuschagne, P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*, 107(January 2018), 227–247. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>.
- Lakkis, JM (Ed.). (2007). *Tecnologías de encapsulación y liberación controlada en sistemas alimentarios*. Pub Blackwell.
- Lobato García, C. E., Gómez Rivera, A., Alor Chávez, M. de J., Hernández Vargas, C., & Díaz Oliva, V. del C. (2008). Cuantificación de flavonoides, taninos y esteroides en plantas medicinales de uso tradicional en Tabasco. *Semana de Divulgación Y Video Científico 2008*, 76–80.
- López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.
- López-Córdoba, A., Gallo, L., Bucalá, V., Martino, M., & Navarro, A. (2015). Cocrystallization of zinc sulfate with sucrose: A promissory strategy to render zinc solid dosage forms more palatable. *Journal of Food Engineering*, 170, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.024>.
- Lozano Berna, M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomoización. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Luna, J. A. G., Orrego, J. C., & Duque, J. D. R. (2016). Desarrollo de un sensor móvil para la medición de ruido ambiental. *QUID: Investigación, Ciencia y Tecnología*, (26), 49-56.



- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release—a review. *International journal of food science & technology*, 41(1), 1-21.
- Majeed, H., Bian, Y. Y., Ali, B., Jamil, A., Majeed, U., Khan, Q. F., ... & Fang, Z. (2015). Essential oil encapsulations: uses, procedures, and trends. *Rsc Advances*, 5(72), 58449-58463.
- Martins, E., Poncellet, D., Rodrigues, RC y Renard, D. (2017). Técnicas de encapsulación de aceite utilizando alginato como agente encapsulante: aplicaciones e inconvenientes. *Revista de microencapsulación*, 34 (8), 754-771
- Pedroza Islas, R. (2002). Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas.
- Pimentel-González, DJ, Campos-Montiel, RG, Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R. y Vernon-Carter, EJ (2009). Encapsulación de *Lactobacillus rhamnosus* en emulsiones dobles formuladas con suero dulce como emulsionante y supervivencia en condiciones gastrointestinales simuladas. *Food Research International*, 42 (2), 292-297.
- Quimiz Toral, D. J. (2014). Estudio técnico económico para la implementación de una empresa de mezclador homogeneizador (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.).
- Pan-utai, W., & Iamtham, S. (2018). Physical extraction and extrusion entrapment of Cphycocyanin from *Arthrospira platensis*. *Journal of King Saud University - Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.05.026>
- Parra Huertas, RA (2010). Microencapsulación de alimentos: una revisión. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63 (2), 5669-5684.

- Parras Huertas, R. A. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2), 37055. <https://doi.org/0304-2847>
- Sardar, B. R., & Singhal, R. S. (2013). Characterization of co-crystallized sucrose entrapped with cardamom oleoresin. Journal of Food Engineering, 117(4), 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.011>
- S.G. Passino, E. Bazzoni and L.D.M. Moretti, Veg. Plagas, 2004, 30, 125-132.26.
- Sanguansri, L., & Augustin, M. A. (2010). New technologies for functional food manufacture product development. Functional Food Product Development, (ISBN 978-1-405-17876-1).
- Taylor, John R. "An Introduction to Error Analysis", 2nd edition. Sausalito, California: University Science Books, 1997. pp 166-8.
- Valdiviezo-Morales, L., Ortega-Cerrilla, ME, Vaquera-Huerta, H., Kawas-Garza, JR, Zetina-Córdoba, P., y Miranda-Jiménez, L. (2017). Micro y nano encapsulación: una perspectiva biotecnológica en la producción animal. Agroproductividad , 10 (5), 63-68.
- Wang, W., Waterhouse, G. I. N., & Sun-Waterhouse, D. (2013). Co-extrusion encapsulation of canola oil with alginate: Effect of quercetin addition to oil core and pectin addition to alginate shell on oil stability. Food Research International, 54(1), 837–851. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.08.038>

## Sitios Web

- Lozano, M. I. (2010). *Instituto politecnico Nacional*. Retrieved from Instituto politecnico Nacional: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9472/1/120.pdf>
- Sanmartín Hurtado, W. O., & Benenaula Ramón, M. J. (2016). Diseño y construcción de un homogeneizador por inmersión de alto cizallamiento, para la empresa FORMALAB (Bachelor's thesis).
- silverson. (n.d.). *silverson*. Retrieved from silverson: silverson.es

**OCTAVA PARTE**

**ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**GLOSARIO**

## **GLOSARIO**

**Acido glucurónico de calcio:** se utiliza con el alginato para hacer esferificaciones, estos a su vez es la encapsulación de algún producto.

**Agente de reticulación:** es el que genera una reacción química para que entre cadenas de polímeros se unan.

**Bicapa de Fosfolípidos:** las membranas plasmáticas se componen principalmente de fosfolípidos que consiste en ácidos grasos y alcohol. Los fosfolípidos en la membrana plasmática se distribuyen en dos capas lo que se le conoce como bicapa de fosfolípidos.

**Cristalización espontánea:** ocurre cuando durante el enfriamiento de una solución el sistema alcanza la región lábil.

**Modelo de caja de huevo:** El modelo de caja de huevos es la descripción comúnmente aceptada de la estructura de alginato / guluronato de calcio.

**PTFE:** Politetrafluoroetileno, mejor conocido como teflón.

**ANEXO 2**  
**IMÁGENES**

## IMÁGENES

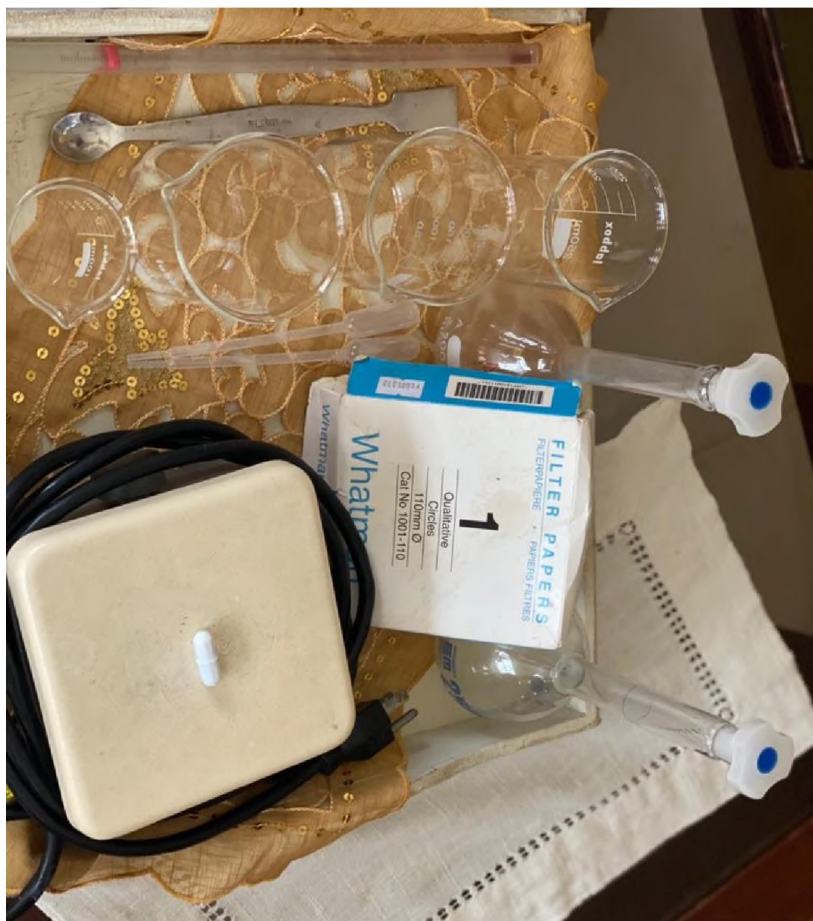
**Figura 21: Materiales utilizados para la microencapsulación de paracetamol y aceite esencial.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)



**Figura 22: Materiales utilizados para la elaboración de microcápsulas.**



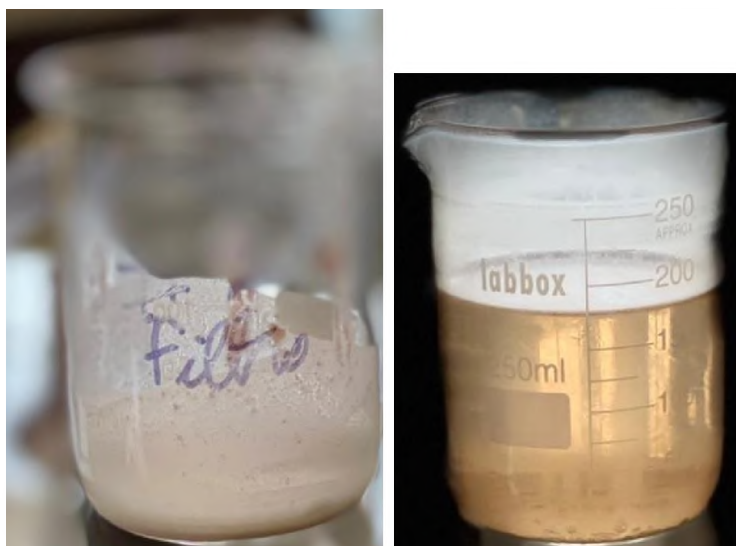
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 23: Alginato de sodio para impresión de odontología, cloruro de calcio anhidrido y diclofenac sódico.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 24: Alginato de sodio odontológico filtrado, cloruro de calcio anhidrido, diclofenac sódico.**



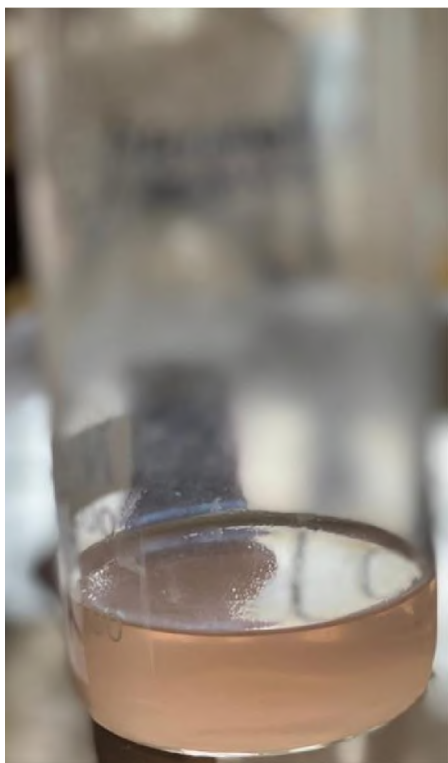
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación).

**Figura 25: Gelatina sin sabor, aceite esencial de Gardenia y sulfato de sodio.**



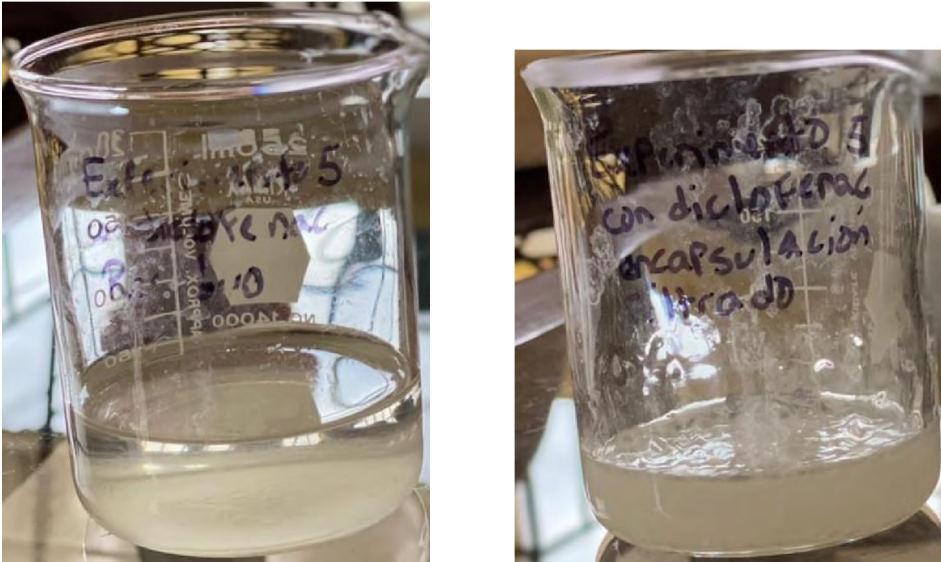
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 26: Alginato de sodio alimento, cloruro de calcio anhidrido, Diclofenac sódico.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Figura 27: Alginato de sodio alimento, cloruro de calcio y paracetamol.



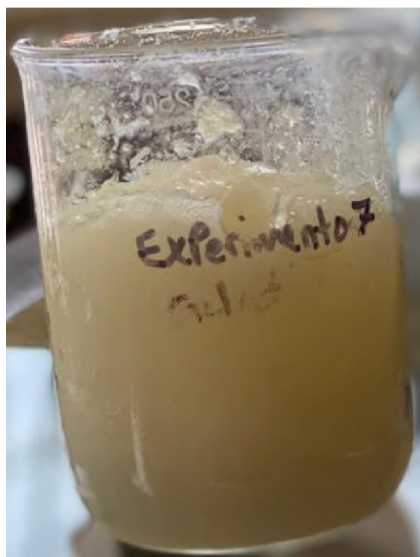
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 28: Alginato de sodio y cloruro de calcio Anhidrido.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

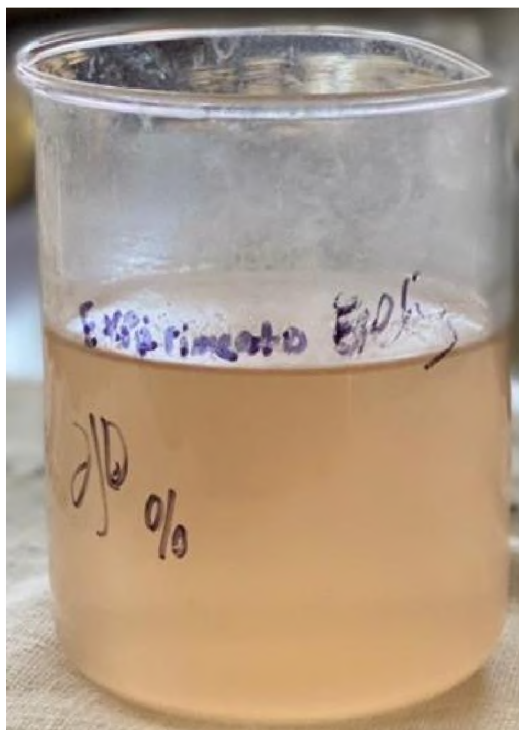
**Figura 29: Gelatina sin sabor, sulfato de sodio y esencia de gardenia.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)



**Figura 30: Alginato de sodio alimento, cloruro de sodio anhidrido y Diclofenac sódico.**



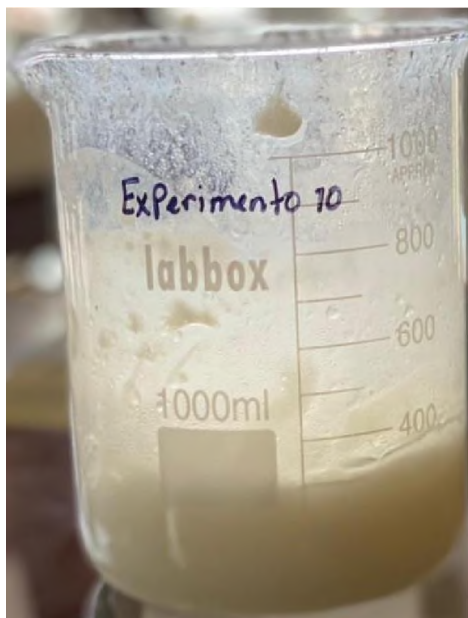
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 31: Gelatina sin sabor, sulfato de sodio y esencia de gardenia.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 32: Gelatina sin sabor, esencia de gardenia, sulfato de sodio y formol.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 33: Experimentos realizados con el equipo.**

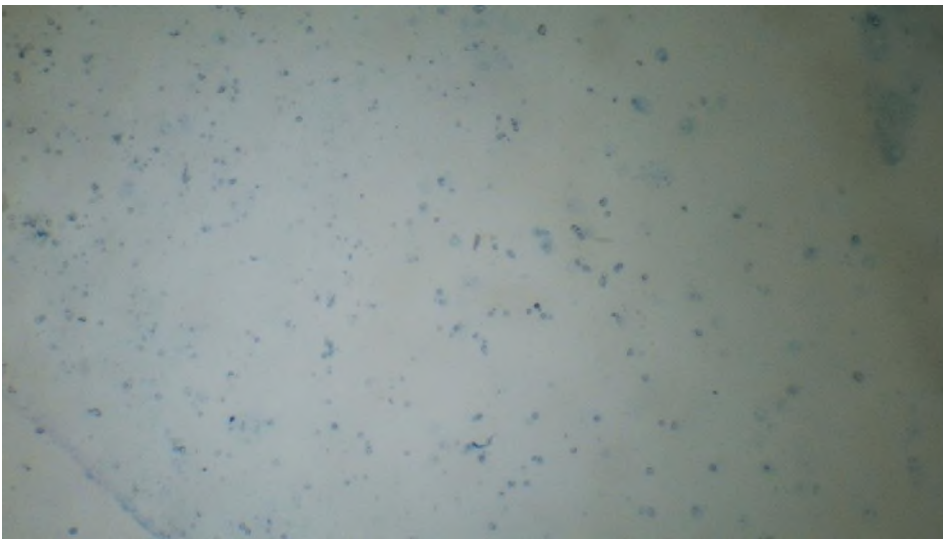


Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**ANEXO 3**  
**MICROCAPSULAS**

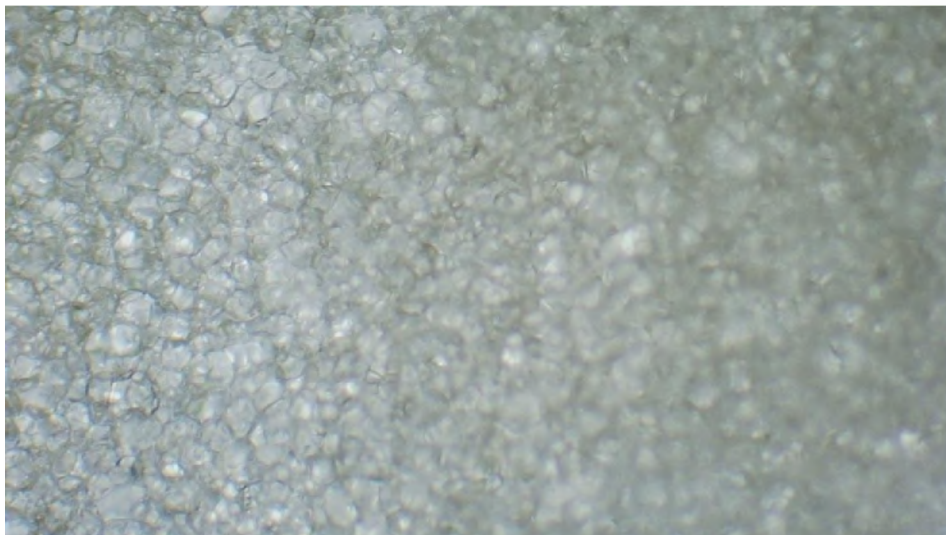
### ANEXOS 3 MICROCÁPSULAS

**Figura 34: experimento 2**



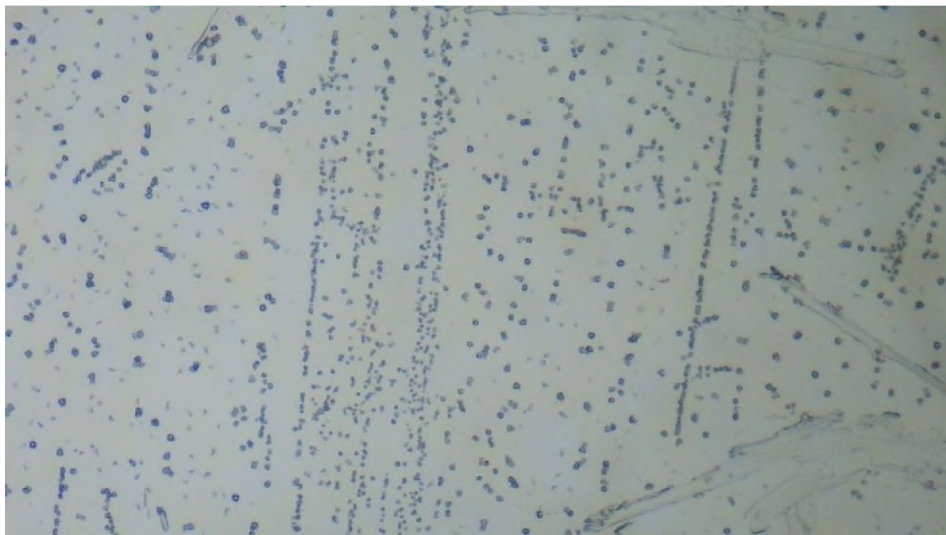
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 35: Experimento 3.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

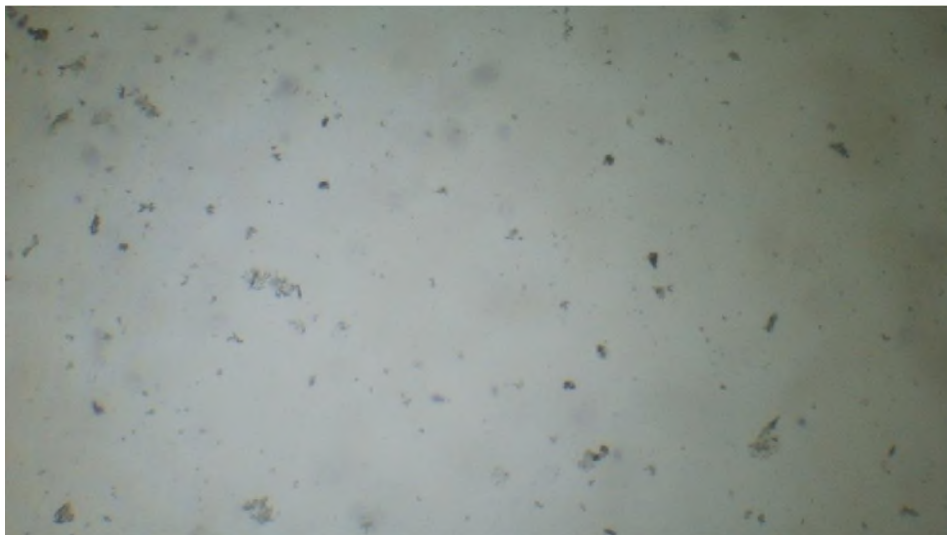
**Figura 36: Experimento 5.**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

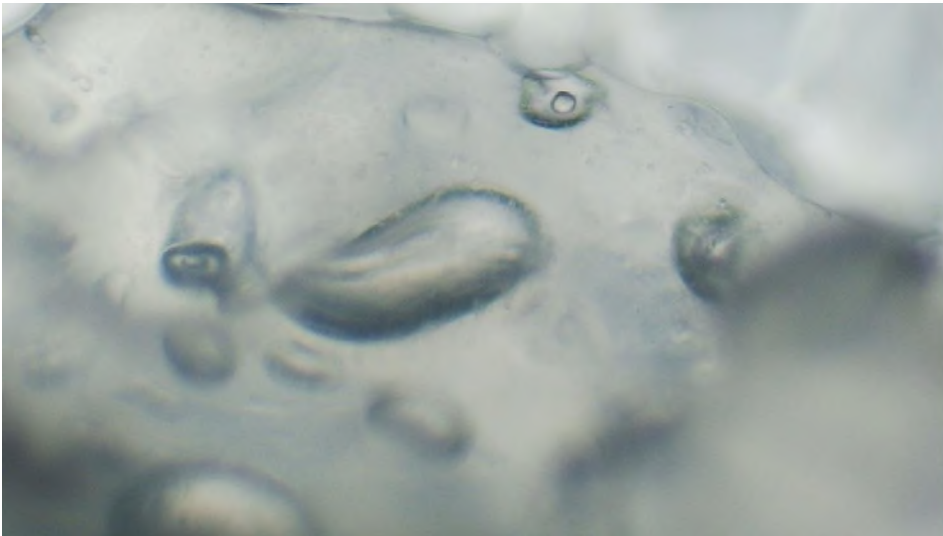


**Figura 37: Experimento 6.**



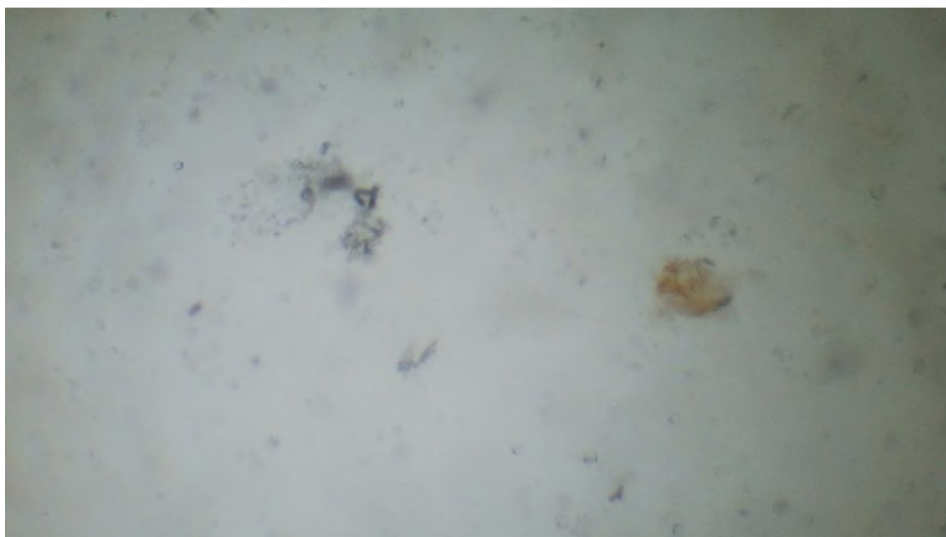
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 38: experimento 7**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 39: Experimento 8**



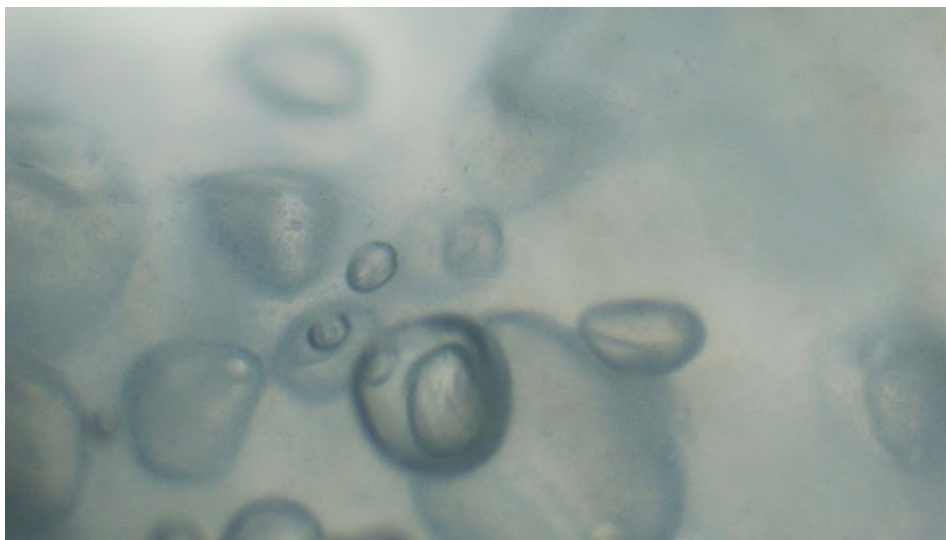
Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 40: Experimento 9**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**Figura 41: Experimento 10**



Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

**ANEXO 4**

**TABLAS**

## TABLAS

### **CALCULOS DE VELOCIDAD DE MOTOR:**

El análisis estadístico de las mediciones obtenidas se realiza mediante el “criterio de Chauvenet” que permite determinar de manera cuantitativa si un dato es aberrante o atípico, dentro de un conjunto de datos (Taylor, 1997).

Para esto, se estima el promedio de las mediciones de la muestra y luego, se determina la desviación estándar (s). Que permitirán la desviación de los datos del promedio por medio de la siguiente formula:

$$\text{Desviación} = \frac{|xi - X|}{s}$$

**Tabla 5: Medición de las velocidades del motor.**

# Medición	Velocidad I	Velocidad II	Velocidad III
1	1872	2998	1735
2	1982	1247	1798
3	1946	1906	2274
4	1890	1720	1758
5	1946	1753	1947
6	3744	2098	1757
7	3621	2000	1139
8	2242	1760	1800
9	3411	1759	2074
10	2769	2342	2022
11	1740	2172	1948
12	2862	1947	1726
13	2920	2024	1153
14	1262	1950	2100
15	1899	2776	1977
16	1755	1877	2170

17	1868	1802	2180
18	1872	1978	2127
19	1646	1761	2706
20	1945	1877	1761
21	1903	2102	1761
22	1872	2104	1761
23	1944	1759	1869
24	2017	1758	1758
25	1745	1759	1248
<i>Media</i>	2186.92	1969.16	1861.96
<i>Desv. Std</i>	645.48	347.03	342.27

Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Al aplicar la formula se determina que para el botón I, el primer valor obtenido es:

$$\text{Desviacion} = \frac{|1872 - 2150.38|}{659.31} = 0.422$$



**Tabla 6: cálculos de las desviaciones estándar de las revoluciones del motor.**

<i>#Medición</i>	<i>Velocidad I</i>	<i>Velocidad II</i>	<i>Velocidad III</i>
1	0.49	2.96	0.37
2	0.32	2.08	0.19
3	0.37	0.18	1.20
4	0.46	0.72	0.30
5	0.37	0.62	0.25
6	2.41	0.37	0.31
7	2.22	0.09	2.11
8	0.09	0.60	0.18
9	1.89	0.61	0.62
10	0.90	1.07	0.47
11	0.69	0.58	0.25
12	1.04	0.06	0.40
13	1.13	0.16	2.07
14	1.43	0.06	0.70
15	0.45	2.32	0.34
16	0.67	0.27	0.90
17	0.49	0.48	0.93
18	0.49	0.03	0.77
19	0.84	0.60	2.47
20	0.37	0.27	0.29
21	0.44	0.38	0.29
22	0.49	0.39	0.29
23	0.38	0.61	0.02
24	0.26	0.61	0.30
25	0.68	0.61	1.79

Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Una vez obtenidos estos valores, se comparan con el Criterio de Chauvenet para rechazar mediciones de la figura siguiente:

**Tabla 7: Comparación de los datos obtenidos con el criterio de Chauvenet.**

n	$k_n$	n	$k_n$	n	$k_n$
2	1.15	8	1.86	30	2.40
3	1.35	9	1.92	40	2.48
4	1.54	10	1.96	50	2.57
5	1.65	15	2.13	100	2.81
6	1.73	20	2.24	300	3.14
7	1.80	25	2.33	500	3.29
-	-	-	-	1000	3.48

Fuente: (Taylor, 1997).

Donde, para  $n=25$  se descartan todos los datos en los que la desviación es  $>2.33$ , obteniéndose los nuevos valores mostrados en la tabla 6:

**Tabla 8: Velocidad del motor con sus desviaciones relativas.**

# Medición	Velocidad I (RPM)	Velocidad II (RPM)	Velocidad III (RPM)
1	1872	1247	1735
2	1982	1906	1798
3	1946	1720	2274
4	1890	1753	1758
5	1946	2098	1947
6	3621	2000	1757
7	2242	1760	1139
8	3411	1759	1800
9	2769	2342	2074
10	1740	2172	2022
11	2862	1947	1948
12	2920	2024	1726
13	1262	1950	1153
14	1899	2776	2100
15	1755	1877	1977
16	1868	1802	2170
17	1872	1978	2419
18	1646	1761	2180
19	1945	1877	2127
20	1903	2102	1761
21	1872	2104	1761
22	1944	1759	1761
23	1237	1758	1869
24	2017	1759	1758
25	1745	-	1248
Media	2086.64	1926.29	1850.48
Desv. Std.	585.45	278.80	316.64
RSD	0.28	0.14	0.17

Fuente: (Sanchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Tabla 9: Determinación del Rendimiento. (Sánchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Gelatina		
Cantidad de materia	unidad de tiempo	masa/tiempo
20.0024	1	20.0024
2	10	0.2
40.0032	3	13.3344
300	60	5
300.5	90	3.33888889
Promedio		5.375137778
Rendimiento		0.5168297523

Tabla 9: Determinación del Rendimiento. (Sánchez, L. Diseño y construcción de un instrumento de dispersión por inmersión para la realización de prácticas docentes de microencapsulación)

Gelatina		
Cantidad de materia	unidad de tiempo	masa/tiempo
3	5	0.6
3	22	0.136363636
0.05	3	0.016666667
110	30	3.666666667
Promedio		1.104924242
Rendimiento		0.68184875

**ANEXO 5**

**MANUAL DE USO DEL HOMOGENEIZADOR**

## **MANUAL DE USO DEL HOMOGENEIZADOR**

### **Alcance**

Este manual tiene como alcance el uso del homogeneizador dispersor para la elaboración de prácticas de microencapsulación para los estudiantes de ingeniería química y Farmacia.

### **Instrucciones para la puesta en marcha del equipo**

Antes de realizar una elaboración de microencapsulación es conveniente observar los siguientes pasos:

- El homogeneizador debe estar en un ambiente no mayor a 30grados Celsius.
- El lugar donde se instale el homogeneizador debe estar completamente limpio.
- Colocar la máquina en una superficie totalmente plana para que al momento de giro no exista ningún movimiento.
- Todos los elementos de mezcla deben estar limpios.
- Compruebe si todos los elementos están ajustados correctamente.
- Conecte al cable de alimentación, el voltaje es de 110V.
- Ponga en marcha el motor de agitación.

- Encienda la máquina en vacío y luego verifique que todos los sistemas estén funcionando normalmente.
- Si se cumplen todas las condiciones anteriores, continuaremos mezclando varias sustancias; de lo contrario, se debe corregir el mal funcionamiento.
- Encienda la máquina y continúe preparando el producto.

### **Equipos de seguridad**

Se recomienda al estudiante utilizar los siguientes equipos de seguridad para su protección cuando esté realizando la práctica.

- Utilizar lentes de seguridad si se acercan a un rango de 10 metros de distancia del equipo.
- Mascarillas desechables si se manipulan sustancias volátiles o solventes orgánicos.
- Trabajar con este equipo en un lugar completamente plano para evitar las vibraciones o el desnivel del equipo.

### **Practica 1: Microencapsulación de aceite esencial de gardenia**

#### **I. Objetivo (s):**

- Microencapsular aceite esencial de gardenia utilizando como agente encapsulante la gelatina sin sabor.
- Determinar a través de un microscopio las microcápsulas obtenidas.

## **II. Introducción:**

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas, bioactivas y otro tipo de sustancias, son introducidas en una matriz de biopolímeros con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otras sustancias del ambiente o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o la presencia de oxígeno. En esta práctica se utiliza la gelatina y el sulfato de sodio.

## **III. Reactivos y equipos**

- Sulfato de sodio
- Gelatina sin sabor
- Esencia de gardenia
- Formol
- Beaker (250, 500 y 1000ml)
- Aforados (200ml)
- Goteros (1ml)
- Balanza de Precisión
- Agua destilada



- Homogeneizador de dispersión
- Cuchara

#### **IV. Propiedades de las sustancias a manejar-**

- Sulfato de sodio: No es explosivo, pero al fundirse con el aluminio explota. Se disuelve fácilmente en el agua, es químicamente estable por lo cual no necesita agentes estabilizantes. No es compatible con ácidos y bases fuertes, agentes oxidantes y reductores. (CIAFA, 2017)
- Gelatina sin sabor: es una mezcla coloide (sustancia semisólida), incolora, translúcida, quebradiza y casi insípida que se obtiene a partir del colágeno procedente del tejido conectivo de despojos animales hervidos con agua. (es, s.f.)
- Esencia de gardenia: tiene propiedades antibacterianas, antioxidantes, antiinflamatorias, sedantes y afrodisiacas. Ayuda a proteger la piel del sol acelerando la cicatrización de heridas y en el tratamiento de las infecciones. (Jabonarium, s.f.)
- Formol: es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante; estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante. Puede ser comprimido hasta el estado líquido; su punto de ebullición es  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Ecured, s.f.)

## **V. Procedimiento experimental.**

se prepara una solución acuosa de gelatina al 10% a 40°C y una solución de sulfato de sodio al 40%. Se mezclan la gelatina y el aceite esencial (gardenia) en el dispersador (durante 10 minutos) y luego se agrega de forma paulatina la solución de sulfato de sodio y continúa dispersando durante una hora. Al finalizar, se adicionan 0.5 ml de formaldehído (37%) y se continúa agitando durante 3 horas; se filtra y se almacena para posterior análisis en microscopio.

## **VI. Resultados**

La muestra se gelificó debido a los rpm que se utilizaron para su elaboración, pero esto no evitó que la muestra obtenida contuviera microcápsulas formadas por la constante agitación que esta práctica contenía.

## **Práctica 2. Microencapsulación de paracetamol.**

### **I. Objetivo (s):**

- Microencapsular paracetamol utilizando como agente encapsulante el alginato de sodio.
- Determinar a través de un microscopio las microcápsulas obtenidas.

### **II. Introducción:**

En la industria farmacéutica se ha implementado la técnica de microencapsulación debido a que muchos medicamentos tienden a descomponerse con el ambiente. En esta práctica se utiliza el alginato de sodio como agente encapsulante y el cloruro de sodio como emulsionante.

### **III. Reactivos y equipos**

- Alginato de sodio
- Cloruro de calcio anhidrido
- paracetamol
- Beaker (250, 500 y 1000ml)
- Aforados (200ml)

- Goteros (1ml)
- Balanza de Precisión
- Agua destilada
- Homogeneizador de dispersión
- Cuchara

#### **IV. Propiedades de las sustancias a manejar**

- Alginato de sodio: es un polisacárido que se extrae de las algas marinas color café, componente estructural de las paredes celulares; se presenta como sales de sodio, calcio o potasio. (Badui, 2013)
- Cloruro de calcio anhidrido: es un compuesto químico, inorgánico, mineral utilizado como medicamento en enfermedades o afecciones ligadas al exceso o deficiencia de calcio en el organismo. Es una solución incolora. (Ecured, s.f.)
- Paracetamol: es un analgésico y antipirético eficaz para el control del dolor leve o moderado causado por afecciones articulares, otalgias, cefaleas, dolor odontogénico, neuralgias, procedimientos quirúrgicos menores etc. También es eficaz para el tratamiento de la fiebre, como la originada por infecciones virales, la fiebre post-vacunación, entre otras. (Facmed, 2007)

## **V. Procedimiento experimental.**

Se prepara una solución de alginato de sodio al 4% y una solución de cloruro de calcio al 10%. Se homogeniza la solución de alginato de sodio con 1 g de paracetamol en el dispersor y luego se le agregan (por goteo) 10 ml de la solución de cloruro cálcico y se dispersa por 30 minutos más, luego se almacenan para posterior análisis en microscopio.

## **VI. Resultados**

Una vez añadido el alginato con el paracetamol al cloruro de calcio se pudo observar la formación de capsulas grande, mientras que para determinar si se formaron las microcápsulas se utilizó un microscopio ya que estas no pueden ser vista por el ojo humano.

## Referencias

- Badui, S. (2013). *hablemos claro*. Retrieved from hablemos claro: <https://hablemosclaro.org/alginato-de-sodio/>
- CIAFA. (2017, Mayo). *Camara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquimicos*. Retrieved from Camara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquimicos: <https://www.ciafa.org.ar/files/nez0zAqndrxsiE5SvJWSsdeJLjmibUEL2xtRs2Jm.pdf>
- *Ecured*. (n.d.). Retrieved from Ecured: <https://www.ecured.cu/Formol>
- es,Q.(n.d.). *Quimica.es*. Retrieved from Quimica.es: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Gelatina.html>
- *Facmed*. (2007). *Facmed*. Retrieved from *Facmed*: [http://www.facmed.unam.mx/bmnd/gi\\_2k8/prods/PRODS/Paracetamol.htm](http://www.facmed.unam.mx/bmnd/gi_2k8/prods/PRODS/Paracetamol.htm)
- *Jabonarium*. (n.d.). *Jabonarium*. Retrieved from *Jabonarium*: <https://www.jabonariumshop.com/aceite-esencial-de-gardenia#:~:text=El%20aceite%20esencial%20de%20gardenia,buena%20salud%20de%20la%20piel.>

## **Mantenimiento del Homogeneizador**

El mantenimiento para controlar el correcto funcionamiento del equipo es muy importante, ya que evita las posibles averías y de este modo se impiden las interrupciones en la producción de microcápsulas.

### **Mantenimiento Diario**

- Antes de comenzar la producción, limpie el lugar de trabajo y todos los componentes del sistema de mezcla.
- Cuando utilice la máquina, compruebe que no haya ningún sonido extraño.
- Seguimiento del tiempo activo y el tiempo muerto de la máquina.
- Al final de la jornada laboral, se deben eliminar todas las partículas y residuos de sustancias que queden en el cabezal de trabajo y otras posibles estructuras contaminadas.
- Cubra la máquina con una manta para evitar el contacto con partículas o polvo.

### **Mantenimiento Preventivo**

Se le realizará cada seis meses

- Anticiparse al mantenimiento preventivo de las piezas eléctricas y mecánicas para asegurar su normal funcionamiento.
- Compruebe el apriete de tornillos, ejes y tuercas.

- Compruebe que las columnas estén alineadas correctamente.
- Realice una prueba del motor y verifique su par bajo carga y sin carga.
- Revise todos los componentes de la máquina y verifique que estén funcionando correctamente.

### **Mantenimiento Correctivo**

Se le realizará cada año.

- Compruebe si el cable del motor y el interruptor están dañados.
- Compruebe si el cabezal de trabajo y sus componentes están dañados.
- Verificar la rotación del rotor, si el rotor no es concéntrico, debe estar desgastado y se debe reemplazar el cojinete.
- Compruebe si todos los tornillos de fijación de la máquina están desgastados o cámbielos.
- Compruebe la base y el soporte de la máquina.