



REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA APLICADA

ISSN: 3122 - 4369

JOURNAL – REVISTA DIGITAL
VOLUMEN 1, NUM. 1 ABRIL 2026
REVISTA PERIODICA



REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA APLICADA, año 1, núm. 1, enero-abril de 2026, es una publicación cuatrimestral editada por Osbaldo Hernández Guevara, Colón poniente No. 127 altos 3, colonia centro C.P. 94300, Orizaba, Veracruz. Teléfono (272)1055229.

Página electrónica de la revista:

www.revistamexicana.org

Correo electrónico: admin@revistamexicana.org

Editor responsable: **Profesor Osbaldo Hernández Guevara**. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo **No. 04-2026-032410524900-102**, ISSN: **3122-4369** — ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número: **Profesor Osbaldo Hernández Guevara**, Colón poniente No. 127 altos 3, colonia centro C.P. 94300, Orizaba, Veracruz.

Fecha de última modificación: **20 de abril de 2026**. Tamaño del archivo: **4983 KB**.

Editor

Dr. Osbaldo Hernández Guevara

COMITÉ REVISOR

Área: Innovación educativa en Ingeniería

Dra. Guadalupe Márquez Castañeda

Instituto Tecnológico de Orizaba

M.A. Elizabeth Pacheco Reyes

Universidad Politécnica de Huatusco

Área: Ingeniería Química

Dra. Mayra Viviana Velázquez Macario

Universidad Veracruzana

Dr. Jaime Jiménez Guzmán

Universidad Veracruzana

Área: Simulación y programación

Dr. Lázaro Rafael Melo González

Universidad Veracruzana

M.C. Adrián Gómez Ixmatlahua

Petróleos Mexicanos

Área: Ingeniería Ambiental

Dr. Anselmo Osorio Mirón

Universidad Veracruzana

Dr. Rubén Purroy Vásquez

Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

Área: Ingeniería de Alimentos

Dra. Guadalupe Vivar Vera

Universidad Veracruzana

Dr. Pedro Zetina Córdoba

Universidad Politécnica de Huatusco

ÍNDICE

ID	ÁREA	PÁGINA
IE	Innovacion Educativa en Ingeniería	1
IQ	Ingeniería Química	13
SM	Simulación y Modelación	22
IAM	Ingeniería Ambiental	59
IALI	Ingeniería en Alimentos	65



Diseño, programación e implementación de estrategia digital online en ingeniería para evidencias formativas y sumativas en la modalidad presencial, a distancia y mixta

Osbaldo Hernández Guevara¹ Hugo Pérez Rodríguez²

¹Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

²Facultad de Negocios y Tecnologías de la Universidad Veracruzana, Ixtaczoquitlán, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 10 de febrero 2026

Aceptado 20 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen- El proyecto se programó para facilitar el aprendizaje significativo del alumno, desarrollándose con 3 softwares (php, html y mysql). La creación de la plataforma educativa es fundamental para que el estudiante de ingeniería química dé un seguimiento inmediato a sus asistencias, calificaciones entre otros. Se programó una sesión por usuario para que ingrese con claves de usuario y contraseña sin que existan violaciones o alteraciones involuntarias en sus actividades. El profesor puede ingresar con cuenta de usuario y contraseña generando la captura de la lista de asistencia o de actividades formativas o sumativas y la plataforma arroja en automático su evaluación final. En esta primera implementación se logró obtener resultados favorables siendo 3% de índice de reprobación y 97% de aprobación aplicado al grupo de termodinámica de la sección 2 del programa educativo de Ingeniería Química de la facultad de ciencias químicas de la universidad veracruzana.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

La adquisición del aprendizaje significativo mediante el modelo educativo basado en competencias tiene una gran relevancia, así como la necesidad del empleo de tecnologías de la comunicación e información (TIC's).

El uso de las plataformas digitales para organizar la gestión del curso, así como para recopilar evidencias, en ocasiones no cumplen con algunos parámetros para recibir y ofrecer información tanto al docente como al alumno.

La Universidad Veracruzana cuenta con su plataforma educativa de nombre eminus pero los profesores solo la ocupan como un repositorio de evidencias sin que este muestre en tiempo real la evidencia y no identifica si es una evidencia sumativa o formativa que se desarrolló en salón de clases o en dado caso tarea en casa.

De igual forma la asistencia a clase en tiempo real en donde el alumno la puede consultar directamente en el enlace proporcionado y el mostrar sus calificaciones de los exámenes parciales, el concentrado de asistencia, calificación de proyectos y el promedio final obtenido del curso, le da una información pertinente e inmediata sin que tenga que esperar semanas a que se entere de su calificación.

La presente estrategia digital establecerá en el alumno una rápida respuesta a su avance académico haciendo que el alumno se regularice en sus actividades y saber cuáles son sus deficiencias y la problemática de las faltas las podrá controlar, reflejándose en su cuenta el concentrado de asistencia. El grupo al que se implementará es al 302 del programa educativo Ingeniería Química en la experiencia educativa de Termodinámica.

Se desarrollará con varios lenguajes de programación como lo es html, php y mysql y la aplicación funcionará en un sitio web que al final se verá reflejada la participación de los alumnos en todos los rubros evaluables.

Metodología

El desarrollo de la plataforma educativa, así como la adaptación en la experiencia educativa son factores importantes para describir su metodología.

Desarrollo de la plataforma digital en php, mysql y html

Los softwares permitirán establecer un sistema online en donde php (Hypertext Preprocessor) Open Source, especialmente concebido para el desarrollo de aplicaciones web. Puede ser integrado fácilmente al html. Lo que distinguirá a php de los lenguajes de script como JavaScript, el código se ejecutará en el servidor, generando así el html, que será luego enviado al cliente. El cliente solo recibirá el resultado del script, sin ningún medio de acceso al código que produjo dicho resultado. Se podrá configurar el servidor web para que analice todos los ficheros html como ficheros php. Así, no hay manera de distinguir las páginas que son producidas dinámicamente de las páginas estáticas. El servidor web puede incluso ser configurado para procesar todos los ficheros html con php, y no hay manera para los usuarios de saber que php está siendo utilizado. (PHP Manual, 2025).

Mysql gestionará las bases de datos de código abierto. Las bases de datos serán el repositorio de información en una tabla de registro en donde se encontrará toda la información esencial para todas las entradas de software. (Oracle corp., 2025).

En cambio, html es el lenguaje que definirá el contenido de las páginas web. Corresponde a las siglas en inglés de Lenguaje de Marcado de Hipertexto, básicamente su uso es un conjunto de etiquetas que el navegador interpreta y se empleará para definir el texto y otros elementos que formaran la página web, como imágenes, listas, tablas, vídeos, entre otros.

El lenguaje html servirá para describir la estructura básica de la página y organizar la forma en que se mostrará su contenido, además de que html permitirá incluir enlaces hacia otras páginas o documentos.

Asignación de claves de ingreso a la plataforma.

El profesor procede a dar de alta a los usuarios con un archivo de Excel que contemple su nombre completo y matrícula en donde el sistema lo subirá a una tabla del hosting compartido para que así el profesor les asigne las claves y la dirección de la plataforma (Figura 1).

Link Alumno: <https://www.inepi.org/uv/administrador/logagosto21/matematicas/login.php>



Figura 1. Ingreso a la plataforma educativa por medio de clave

Alta de usuarios en plataforma

El profesor podrá ingresar a su cuenta e importar el Excel a sus tablas de sus cursos de mysql en el hosting compartido (Figura 2).



Link Alumno: <https://www.inepi.org/uv/administrador/logagosto21/matematicas/login.php>

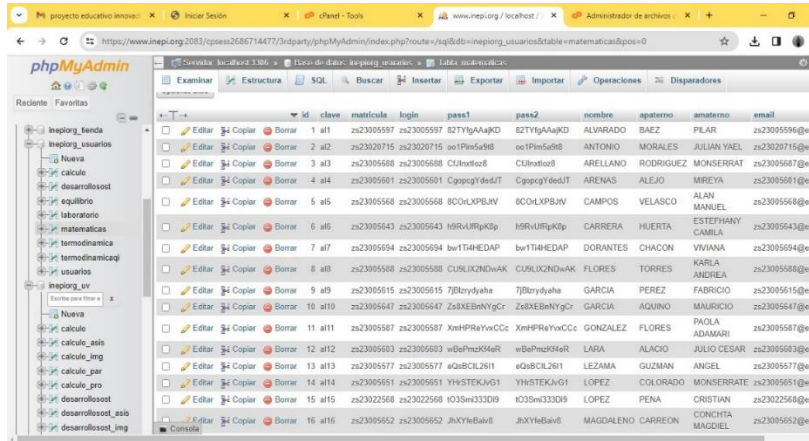


Figura 2. Información generada en el hosting con mysql

Lista de asistencia

La generación de la lista de asistencia la proporcionará la plataforma mediante un input tipo radio y así indicar la asistencia o falta del alumno el cual se verá reflejado en su cuenta (Figura 3).

NOMBRE	Asistencia	No Asistencia
ALVARADO BAEZ PILAR	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ANTONIO MORALES JULIAN YARE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ARELLANO RODRIGUEZ MONSERRAT	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ARENAS ALEJO MIREYA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CAMPOS VELASCO ALAN MANUEL	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CARRERA HUERTA ESTEFHANY CAMILA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
DORANTES CHACON VIVIANA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
FLORES TORRES KARLA ANDREA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
GARCIA PEREZ FABRICIO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
GARCIA AQUINO MAURICIO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
GONZALEZ FLORES PAOLA ADAMARI	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LARA ALACIO JULIO CESAR	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LEZAMA GUZMAN ANGEL	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LOPEZ COLORADO MONSERRATE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LOPEZ PENA CRISTIAN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MAGDALENO CARREON CONCHITA MAGDIEL	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MARTINEZ PARRA ARIADNA VANESSA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MARTINEZ MANCILLA BRAULIO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MELINA CORTES DORIS LYSSETH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MILLADO MARTINEZ OSIBALDO JAVIER	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MORA PEREZ LUISA FERNANDA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MORALES HERNANDEZ RAQUEL MARIANA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MORENO CASTRO EDGAR ADRIAN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 3 ingreso a la asistencia de parte del profesor

El sistema tiene la ventaja de que asignará la asistencia el profesor y el estudiante podrá revisar inmediatamente en su sesión el número de asistencias y faltas generadas en el presente curso (Figura 4)

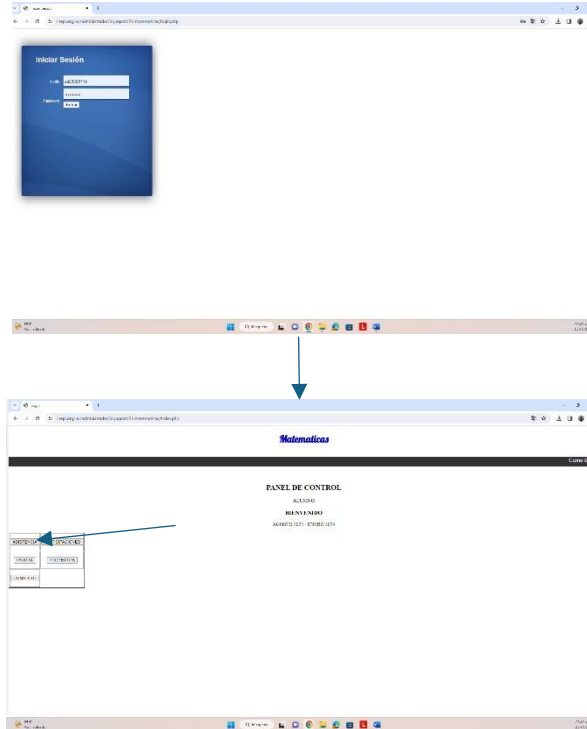


Figura 4. Ingreso de parte del estudiante a su menú

Una ventaja es que el profesor asignará retardo y podrá informar de la sumatoria de las faltas de parte del estudiante (Figura 5)



Figura 5. El alumno puede observar el numero 1 como asistencia y la fecha del pase de lista.

Para la participación en clase, el alumno mediante su celular tomará la imagen de la actividad y sube el archivo en su sesión, mientras que el profesor mediante su laptop o computadora podrá observar y asignar o modificar la participación del alumno en la plataforma y así al mismo tiempo que el estudiante revisa o confirma la calificación y retroalimentación (Figura 6).

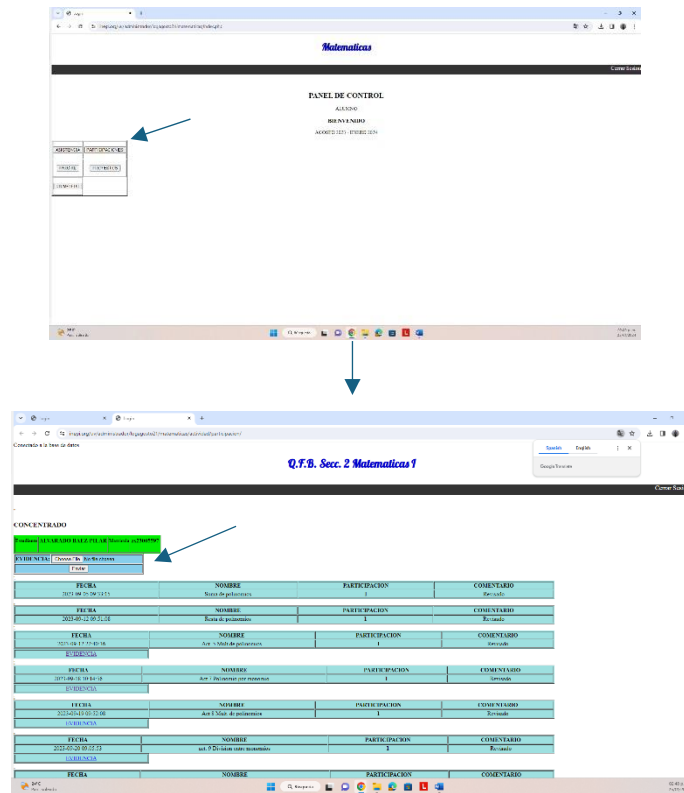


Figura 6. El estudiante subirá actividades formativas y visualiza las anteriores

Para las evidencias sumativas, el profesor califica exámenes parciales y proyecto final dando al final el promedio de su curso, incluyendo el derecho o no por las asistencias (Figura 7).

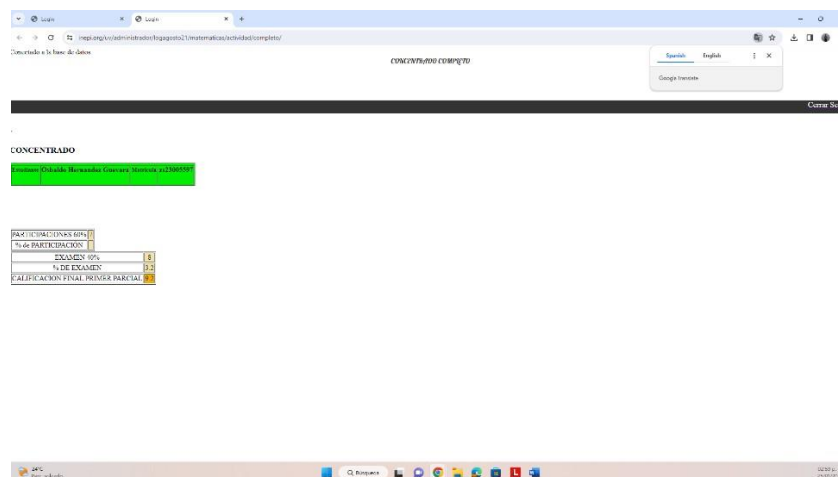


Figura 7 El profesor imprime la lista y el promedio final

Resultados

Durante el curso de termodinámica impartido en la facultad de ciencias químicas, hubo una alta entrega de actividades formativas registradas en clase, así como la consulta diaria al sistema de parte de los alumnos.

En comparación con otros periodos, aprobaron más del 90% de alumnos (Figura 8), siendo una buena estrategia la implementación de esta plataforma para la entrega de actividades y visualización de calificaciones de parciales, proyectos, entre otros.

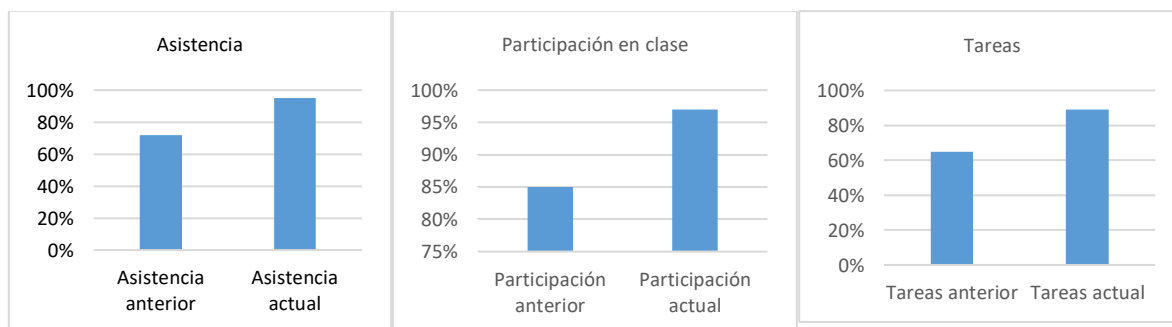


Figura 8. Mejora de acciones académicas.

Otra ventaja que se tiene es la de hacer alguna corrección, el profesor mediante la opción de “modificar”, puede corregir alguna justificación de asistencia.

Conclusiones

En ésta primera etapa de desarrollo del sistema, el empleo de la plataforma educativa ofrece una mejor perspectiva en la disminución del índice de reprobación debido a que el alumno de forma inmediata puede consultar calificaciones de actividades formativas, sumativas, parciales, proyectos, asistencia y su avance general.

En el presente curso de matemáticas I, aprobaron 97% reprobando el 3% siendo en números 43 inscritos, 1 reprobado, 3 no presentaron y 42 aprobaron.

Se tuvo un aprovechamiento de 8.4 de promedio por todo el grupo observando la viabilidad de la plataforma para implementarla en los siguientes periodos con otras experiencias educativas de otros programas educativos.

Bibliografía

PHP Documentation Group. (s. f.). *Introduction to PHP*. PHP Manual Recuperado en diciembre de 2025. <https://www.php.net/manual/es/introduction.php>

Oracle Corporation. (s. f.). *Oracle*. Recuperado en diciembre de 2025, de <https://www.oracle.com/>



Dibujo para ingeniería con impresión 3D para el desarrollo de prototipos

Osbaldo Hernández Guevara¹

Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 10 de febrero 2026

Aceptado 20 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen- La experiencia educativa dibujo para ingeniería del programa educativo de ingeniería ambiental de la facultad de ciencias químicas de la universidad veracruzana, es de las experiencias básicas de valiosa importancia, es una disciplina que permite al estudiante adiestrarse en el manejo de técnicas de dibujo por computadora, indispensable para el desempeño profesional en el diseño y dibujo de proyectos con especificaciones y normas de construcción, dentro de un marco de responsabilidad y profesionalismo. Debido a que el presente curso es un taller, se llevaron a cabo 28 prácticas de dibujo empleando el software Solid Works® alcanzando el estudiante un aprendizaje significativo. Se evaluó por medio de evidencias de desempeño de 28 practicas con criterios definidos que incluyen, asistencia, exámenes parciales, prácticas de dibujo en el aula de cómputo y la elaboración del proyecto el cual fue impreso en 3D generando un prototipo pertinente para su programa educativo. De un total de 23 alumnos el 82% aprobó el curso y de ese porcentaje el 100% aprobó el proyecto educativo innovador mediante la impresión 3D.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

La adquisición del aprendizaje significativo mediante el modelo educativo basado en competencias tiene una gran relevancia, así como la necesidad del empleo de tecnologías de la comunicación e información (TIC's) en la ingeniería. La habilidad adquirida en la experiencia educativa de dibujo para ingeniería requiere la innovación educativa por parte del docente para que favorezca al alumno en su aprendizaje y estar actualizado con temas que en la industria ya cuenta y crea y desarrolla. El diseño asistido por computadora es una herramienta importante que fortalece la creación de prototipos que se pueden emplear posteriormente en algún proyecto de investigación y el programa de la experiencia educativa solo enuncia el CAD pero se fortalece el conocimiento con la impresión 3D (Ravé *et al.*, 2025). Aunque la manera como diseño a veces pierde ese eslabón que conecta el software con la realidad, siendo de gran utilidad el uso de herramientas que aclaran las ideas de los prototipos como lo es la impresión 3D la cual se implementó en el curso de dibujo para ingeniería para que el estudiante conozca, comprenda y aplique proyectos de impresión 3D en sus futuras experiencias educativas.

La impresión 3D, también llamada manufactura por adición es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D (Monroy-Peláez *et al.*, 2025)., pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo también se usa desde hace tiempo para crear rápidamente prototipos para ayudas, maquetas de ensamblados y modelos de presentación. En la experiencia educativa de dibujo para ingeniería del programa educativo de Ingeniería Ambiental, se realiza el dibujo en el software de Solid Works® de acuerdo a la figura 1.

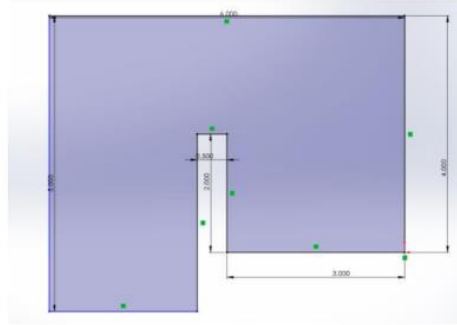


Figura 1. Dibujo en 2D

Una vez terminado el diseño se procede a la impresión 3D (Figura 2).



Figura 2. Impresión en 3D

Metodología

En los saberes de la experiencia educativa de dibujo para ingeniería del programa educativo de ingeniería ambiental se ubican los temas de 'teoría del dibujo asistido por computadora', metodología de dibujo con CAD' y 'edición elementos geométricos, criterios y especificaciones para dibujo'

En los temas antes mencionados, el alumno será capaz de crear una pieza en 3D con dimensiones y características principales en Solid Works® (Planchard, 2020), por lo tanto el procedimiento para desarrollar la figura 3, es la siguiente:

Se organizarán 5 equipos de estudiantes del grupo y se procederá a encomendarles un diseño a cada equipo de trabajo proporcionándoles la guía de observación del proyecto

Cada equipo organizado creará la imagen en un plano 2D acotando correctamente cada segmento de la figura (Figura 3).

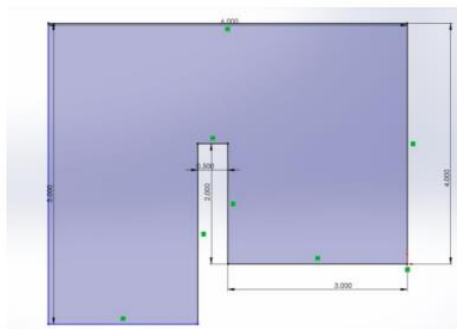


Figura 3. Diseño en 2D de la pieza inicial.

Posteriormente se procede a darle una profundidad para crear la figura en una perspectiva tridimensional (Figura 4)

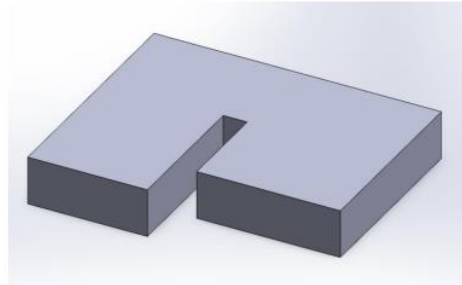


Figura 4. Pieza en 3D diseñada en SolidWorks® con perspectiva 3D

La pieza se guarda con extensión del programa y posteriormente se renombra con la extensión, STL, la cual es reconocida por el software para la impresión (Tickoo,2021).

El software empleado es el software CURA ultimaker versión libre en donde se importa el archivo y se procede a la impresión ajustando previamente parámetros como dimensión, volumen, saturación entre otros de la figura a imprimir (Figura 5),

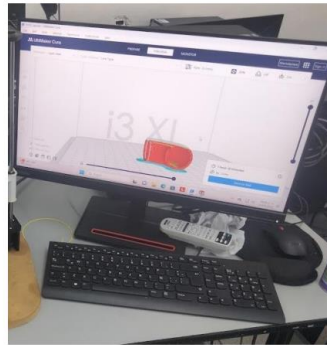


Figura 5. Empleo del software CURA ultimaker (Freeware)

Para finalizar cada equipo una vez diseñada la figura y lista para imprimir, pasará a utilizar la impresora ANET 8 la cual configura inicialmente con los parámetros de la temperatura del extrusor, altura y anchura del área de impresión, el tipo de filamento PLA entre otros (Figura 6)

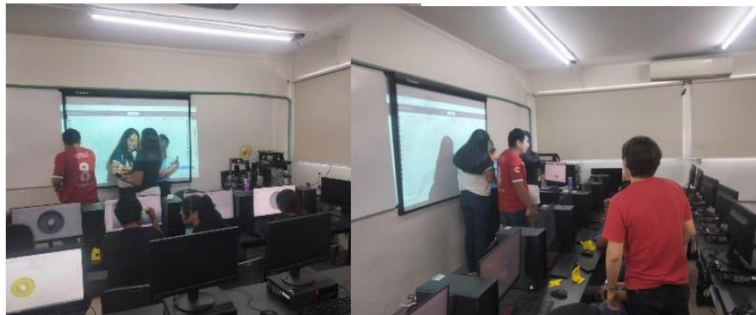


Figura 6. Equipos imprimiendo en 3D

Se lleva a cabo la impresión de la pieza o prototipo en donde se pudo explicar el funcionamiento de la impresora y posteriormente cada estudiante configura e imprime la pieza en 3D (Figura 7)

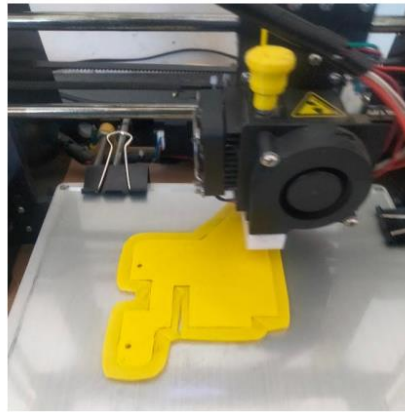


Figura 7. Impresión 3D

Se les demostró la utilidad de la impresión 3D y se presentaron otros proyectos como las caretas creadas en impresora 3D (Figura 8).



Figura 8. Creación de caretas

Resultados y discusión

La innovación de la impresión 3D en la experiencia educativa de dibujo para ingeniería, aportó al estudiante un aprendizaje significativo favoreciendo considerablemente el promedio grupal e individual y registrando la aprobación con un promedio mayor al 9 de calificación, siendo la innovación incorporada un éxito en el rendimiento del grupo.

El estudiante desarrollo correctamente cada una de las figuras encomendadas y al final eligió la que consideraba viable para su impresión por equipos,

Conclusiones

La impresión 3D es una herramienta versátil en comparación con la impresión convencional por medio de Plotter debido a que enriquece el conocimiento y se percibe al alumno con mayor motivación y les da el plus a sus clases para alcanzar el aprendizaje significativo.

De un total de 23 alumnos el 82% aprobó el curso y de ese porcentaje es 82% aprobó el proyecto educativo innovador mediante la impresión 3D.



El promedio general fue de 8.17 rebasándolo 16 estudiantes observando así la viabilidad de la implementación de la impresión 3D en la experiencia educativa de dibujo durante mis próximos periodos como docentes.

Bibliografía

1. Gutiérrez de Ravé, S., Gutiérrez de Ravé, E., & Jiménez-Hornero, F. J. (2025). *Enhancing efficiency and creativity in mechanical drafting: A comparative study of general-purpose CAD versus specialized toolsets*. *Applied System Innovation*, 8(3), 74. <https://doi.org/10.3390/asi8030074>
2. Monroy-Peláez, Á. R., Juárez-Acosta, I., Miralrio, A., & Montes de Oca, S. (2025). *Implementation of 3D printing as a didactic tool for problem solving of engineering systems and devices*. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1541586>
3. Planchard, D. C. (2020). *SOLIDWORKS 2021 reference guide: A comprehensive reference guide with over 260 standalone tutorials*. SDC Publications.
4. Tickoo, S. (2021). *SOLIDWORKS 2021 for designers*. CAD/CIM Technologies.



Diseño y programación de tablas de vapor online para la determinación de propiedades termodinámicas

Osbaldo Hernández Guevara¹ Hugo Pérez Rodríguez²

Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Facultad de Negocios y Tecnologías de la Universidad Veracruzana, Ixtaczoquitlan, Ver.

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 12 de febrero 2026

Aceptado 21 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen El proyecto se desarrolló con 3 softwares (php, html y mysql), el sitio web favorece a la adquisición del aprendizaje significativo del alumno debido a que con ejemplos en clase en la solución de problemas termodinámicos expuestos por el facilitador de manera manual, se comprueban y se desarrollan otros problemas termodinámicos utilizando las herramientas creadas en el sitio web como son las tablas de vapor en cada uno de los estados como líquido comprimido, vapor saturado, vapor sobrecalentado programados a diferentes rangos de temperatura y presión. Durante el proceso de solución de problemas se realizó una evaluación formativa del uso de tablas de vapor en la unidad de diagramas termodinámicos, específicamente en sustancias puras. El programa online diseñado en el sitio web, consiste en introducir el valor de la temperatura y arrojará resultados como la presión de saturación, volumen específico, energía interna, entalpía y entropía.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

La adquisición del aprendizaje significativo mediante el modelo educativo basado en competencias tiene una gran relevancia, así como la necesidad del empleo de tecnologías de la comunicación e información (TIC's) (Noblecilla y Espinoza, 2025). Es importante el uso de herramientas digitales para la resolución de problemas siendo en ocasiones un simulador que reduce tiempos en la solución de estos y obtener una mejor comprensión del manejo de las tablas para enriquecer el conocimiento y aplicarlo a otros temas relacionados con su uso (Taam, 2024). Cuando elegimos una temperatura de saturación que no se encuentra registrada en las tablas de vapor, procedemos a realizar regularmente una interpolación, la herramienta digital nos proporciona automáticamente el resultado del proceso de interpolación. En el tema de sustancias puras se emplean las tablas de vapor para determinar propiedades termodinámicas, el acceso al sistema es fácil debido a que el alumno puede resolverlo desde su celular en su navegador, sin necesidad de instalar aplicación o trabajarlo en una laptop o PC.

En el presente proyecto, se diseñó una aplicación web para las actividades de la experiencia educativa termodinámica del programa educativo de ingeniería química en donde el alumno puede resolver diferentes problemas relacionados con tablas de vapor en estados como líquido comprimido, agua saturada, vapor sobrecalentado (Cengel & Boles, 2024). Se proporciona al alumno las herramientas digitales necesarias para la resolución de problemas en termodinámica, específicamente los que conllevan el tema de sustancias puras en donde el uso de las tablas de vapor para el cálculo de propiedades termodinámicas es fundamental considerando que estas propiedades como el volumen específico, la energía interna, la entalpía y entropía, sean determinadas para facilitar el desarrollo o cálculo de problemas en la experiencia educativa de termodinámica. La forma convencional como es la lectura de las tablas de vapor puede generar un mal cálculo cuando uno hay una temperatura determinada, entonces se procede a realizar una

interpolación. La interpolación es la determinación de un resultado dependiente de la correlación de otros datos por lo tanto en la plataforma se podrá realizar tales resultados siendo también como una especie de simulador online para el cálculo de tales propiedades. Una ventaja es que el alumno podrá utilizar su celular mediante su navegador para la resolución de problemas en clase.

Metodología

El desarrollo del sitio web así como la implementación en la experiencia educativa son factores importantes para describir su metodología. I. Desarrollo de la plataforma digital en php, mysql y html.

Enlace del programa: <https://www.inepi.org/tablas/vapor/>

En la resolución de problemas tenemos el siguiente ejemplo: Un recipiente rígido contiene 50Kg de agua líquida saturada a 90°C, Determine la presión en el recipiente y el volumen del mismo.

Se ingresará al sitio web como se muestra en la figura 1 y se elijará en el menú Agua saturada.

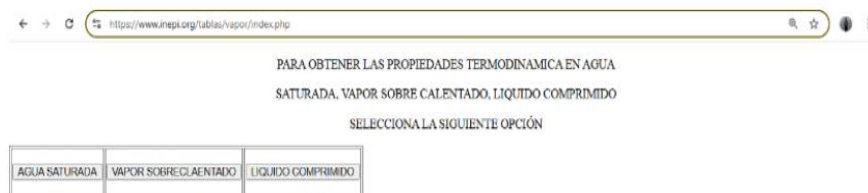


Figura 1 Ingreso al sitio web

Después ingresamos al siguiente menú en donde vamos a calcular la presión a partir de la temperatura Figura 2

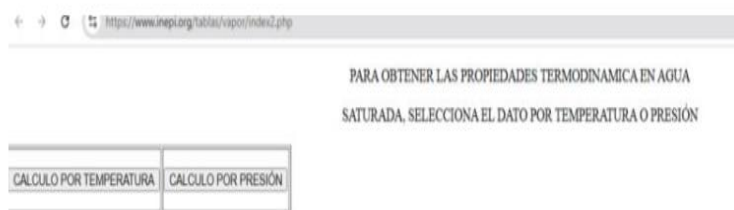


Figura 2 Determinación de la presión a partir de la temperatura

Posteriormente introducimos el valor de 90 en la temperatura y calculamos el valor de la presión (Figura 3)

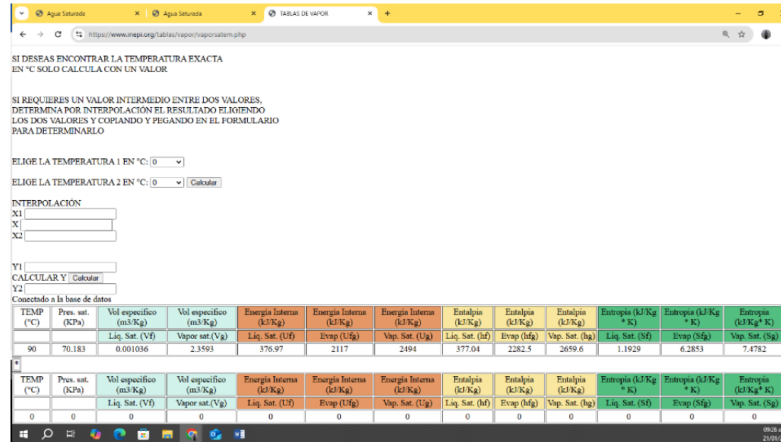


Figura 3 Se obtiene el valor de la presión y de las propiedades termodinámicas.

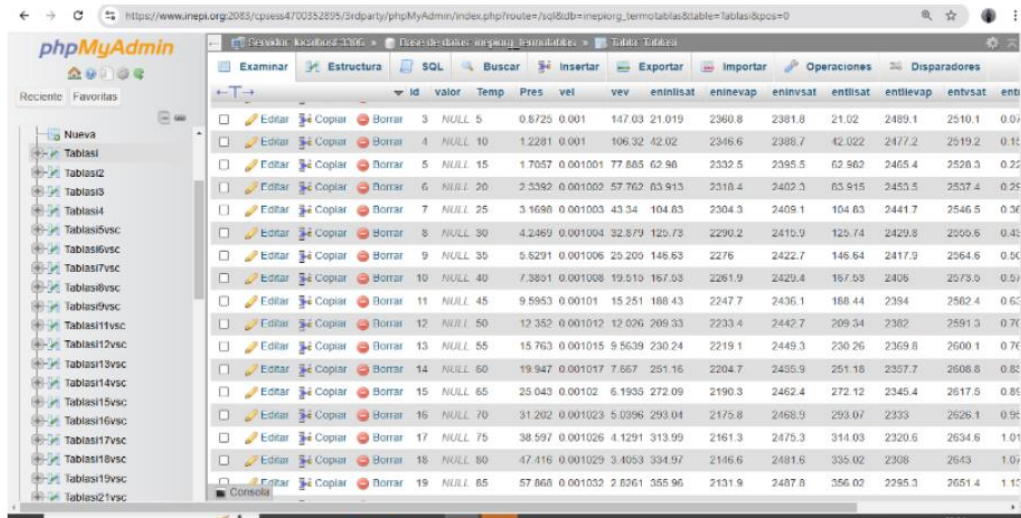


Figura 4 Base de datos generada en el sitio web con mysql de las 3 tablas empleadas, agua saturada, vapor sobrecalentado, liquido comprimido.

De igual forma se llevó a cabo la programación con html y php (Figura 5)

```
45 <tbody>
46
47
48 <div id="login-box">
49
50 <form action="<?php $_SERVER['PHP_SELF'] ?>" method="POST" >
51 <br /><label><center>TABLAS DE LIQUIDO COMPRIMIDO:</center></label>
52 </font>
53 <br />
54 <br /><label>SI DESEAS ENCONTRAR LA TEMPERATURA EXACTA <br />EN kPa
55 <br />SOLO CALCULA CON UN VALOR </label></font> <br /><br />
56 <br /><label>SI REQUIERES UN VALOR INTERMEDIO ENTRE DOS VALORES,<br />DETERMINA
57 <br />POR INTERPOLACIÓN EL RESULTADO ELIGIENDO <br />LOS DOS VALORES Y COPIANDO Y
58 <br />PEGANDO EN EL FORMULARIO <br />PARA DETERMINARLO </label></font> <br /><br />
59 <br /><table border = '1'>
60 <tr>
61 <td>
62 <br /><label>ELIGE LA PRESIÓN EN MPa:</label></font>
63 <br /><select name="valor" id="menu" onchange="redireccionar(this)" required
64 <br />=" ">
65 <br /><option value="0">0</option>
66 <br /><option value="5">5</option>
67 <br /><option value="10">10</option>
68 <br /><option value="15">15</option>
69 <br /><option value="20">20</option>
70 <br /><option value="30">30</option>
71 <br /><option value="50">50</option>
72 </select>
73 </td>
74 </tr>
75 </table>
76 </div>
77 </tbody>
78 </table>
79 </div>
80 </div>
81 </div>
82 </div>
83 </div>
84 </div>
85 </div>
86 </div>
87 </div>
88 </div>
89 </div>
90 </div>
91 </div>
92 </div>
93 </div>
94 </div>
95 </div>
96 </div>
97 </div>
98 </div>
99 </div>
100 </div>
```

Figura 5 Programación en php de las tablas de vapor Se encargaron mas de 45 problemas de la bibliografía Yunus Cengel termodinámica 7ª edición

Resultados

Después de haber desarrollado el ejercicio de ejemplo de la bibliografía Yunus Cengel 7ª. Edición, se obtuvieron los valores de 70.183 y del volumen específico es de 0.001036 el cual se multiplicará por 50 Kg dando como resultado 0.0518 m³. Las tablas de vapor se encuentran capturadas en el sitio web mediante un hosting se crearon cerca de 36 tablas.

Del problemario encargado a los estudiantes empleando las tablas de vapor programadas, mas del 90% aprobaron la actividad, siendo una forma práctica y sencilla del manejo de tablas de vapor.

Conclusiones

En esta primera etapa de desarrollo del sistema, el empleo del sitio web ofrece una mejor perspectiva en la disminución del índice de reprobación debido a que el alumno puede apoyarse de la herramienta digital para la resolución de problemas empleando su celular. En el presente curso aprobaron la actividad del problemario. De 100% de 32 alumnos inscritos solo uno obtuvo una calificación baja. Se identificó un aprovechamiento de 8.9 de promedio por todo el grupo observando la viabilidad del sitio para implementarla en los siguientes periodos.

Bibliografía

1. Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
2. Noblecilla-Espinoza, I. K., & Espinoza-Guamán, E. E. (2025). *El impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en el aprendizaje secundario: una revisión sistemática*. Sociedad & Tecnología, 8(S1), 292–303. <https://doi.org/10.51247/st.v8iS1.598>
3. Taam, A. (2024). *Exploration of the relationships between the information and communication technologies and education systems*. International Journal of Educational Development. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2024.103000>



Desarrollo de una interfaz electrónica y gráfica mediante sistema Arduino para la medición de pH de un proceso de fermentación en un tanque agitado de 3L

Fabio Gerardo López Hernández¹ Osbaldo Hernández Guevara²

^{1,2} Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz
Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 12 de febrero 2026

Aceptado 21 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen. Se rehabilitó el sistema de medición de pH de un fermentador de 3 litros ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas, el cual no contaba con un potenciómetro funcional para monitorear el pH durante los procesos de fermentación. La medición del pH es un parámetro fundamental en los procesos de fermentación, ya que influye directamente en el crecimiento de los microorganismos y en la eficiencia de producción de diversos productos biotecnológicos, alimentarios y farmacéuticos. Debido al deterioro de los sistemas analógicos del fermentador, se planteó implementar un sistema basado en Arduino que permitiera monitorear el pH de forma continua y precisa. El sistema desarrollado utiliza una tarjeta Arduino UNO, un sensor de pH PH-4502C y una sonda de medición E-201-C, los cuales se conectan para medir la concentración de iones de hidrógeno en la solución y convertirla en valores de pH. Estos datos son procesados por el microcontrolador y pueden visualizarse mediante una interfaz electrónica. En la metodología se realizó la instalación del sensor en el fermentador, su programación en Arduino y la evaluación del sistema mediante mediciones de pH en una solución de lactosuero. Posteriormente, los resultados obtenidos se compararon con los de un potenciómetro de laboratorio para determinar el margen de error. Los resultados mostraron que el sistema implementado permite obtener lecturas de pH en tiempo real con un margen de error aproximado de -0.001 , valor que se encuentra dentro del rango aceptable para mediciones de pH (± 0.01 a ± 0.1). Además, se diseñó e imprimió en 3D una base protectora para resguardar los componentes electrónicos del sistema. En conclusión, el proyecto logró restaurar el sistema de medición de pH del fermentador, proporcionando una solución económica, eficiente y funcional para el monitoreo de procesos de fermentación. Esto mejora las prácticas académicas y extiende la vida útil del equipo utilizado en la formación de estudiantes de biotecnología e ingeniería química.

Introducción

La fermentación es un proceso biológico fundamental en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica y biotecnológica, utilizado para la producción de una amplia gama de productos, desde alimentos y bebidas hasta medicamentos y bioenergía (Renneberg, R., 2016). En este contexto, el fermentador de 3L ubicado en el corredor industrial de la Facultad de Ciencias Químicas desempeña un papel clave en los experimentos y prácticas académicas. Sin embargo, el equipo actualmente presenta la ausencia de un potenciómetro, lo que limita la medición precisa del pH durante los procesos de fermentación. Existen varios fermentadores Facultad de Ciencias Químicas, pero con el paso de los años y del uso se van deteriorando sus componentes y la mayoría trabajan con sistemas

analógicos que sean diferentes variables como presión, temperatura, pH, agitación entre otros. Por ello, se realizó el presente proyecto para rehabilitar el sistema de medición de pH del fermentador, sustituyendo el dispositivo original por un potenciómetro controlado a través de un software Arduino (Banzi & Shiloh 2022). Para ello, es necesario implementar un sistema de sensores que permita monitorear el pH de la fermentación mediante un electrodo conectado directamente al equipo. Este sensor deberá estar en contacto directo con el medio líquido del proceso, lo que asegura que se mantenga en línea con el fermentador, permitiendo la medición continua de las propiedades químicas del medio, como el pH. Rehabilitar el sensor de pH en el fermentador de 3L es crucial para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil del equipo. Además, esta mejora permitirá a un mayor número de estudiantes acceder a este equipo para realizar sus prácticas, contribuyendo a una formación más completa en el área de la biotecnología y la ingeniería química.

Metodología

Esta metodología es para crear un software que se encargue de hacer la medición, codificación y enviar los datos a la computadora para el control y automatización del pH de un fermentador.

Acondicionamiento del equipo

En la figura 1 podemos observar el fermentador que se encuentra en el corredor industrial de la Facultad de Ciencias químicas, el cual se acondicionará para su correcto funcionamiento como se puede apreciar en la figura 2, debido a que tiene tiempo sin ser utilizado. Se corregirán posibles fallas en el motor de agitación y tablero de control.



Figura 1 Acondicionamiento del fermentador

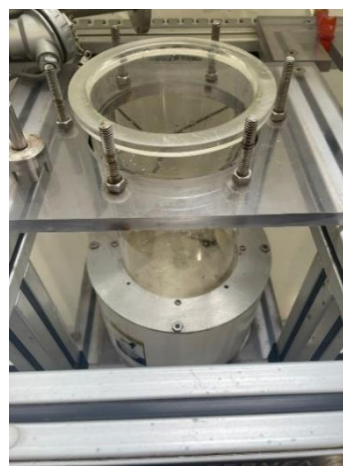


Figura 2 Fermentador 3L

Instalación del electrodo El potenciómetro modelo MLM558052738 contempla una tarjeta arduino, así como el electrodo y algunos componentes para su instalación y calibración. Para la instalación del electrodo de pH se verificó que las conexiones del electrodo a la tarjeta arduino sean correctas con sus correspondientes puertos, para después pasar a su programación (kurniawan, 2017).

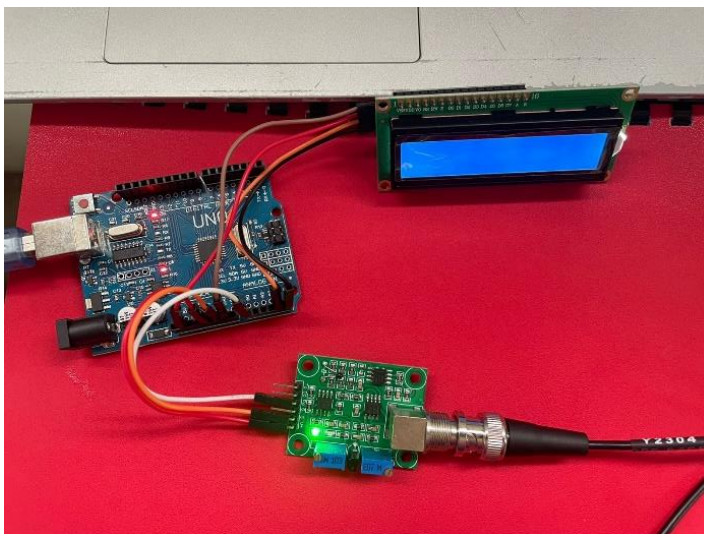


Figura 3 instalación del electrodo

Programación del electrodo

Para crear una interfaz entre el sensor, el equipo y el usuario, se requiere una interfaz programada en arduino, la cual se desarrollará para obtener información y se pueda registrar en un almacenamiento externo, para ello se programó desde la plataforma Arduino IDE donde cargamos el código a la placa arduino, utilizando las librerías LiquidCrystal_I2C y OneWire. (Arduino Uno Rev3, s/f)

La librería OneWire que se muestra en la figura 4 le permite a la tarjeta arduino acceder a dispositivos 1-wire fabricados por Maxim/Dallas, como en sensores y una memoria segura iButton. Mientras que la librería LiquidCrystal que se muestra en la figura 5, nos permite conectarnos a una pantalla LCD .

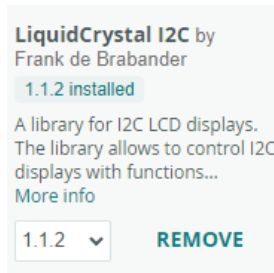


Figura 4 Librería Liquid Crystal

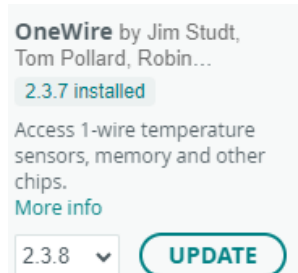


Figura 5 Librería OneWire

Evaluación del sensor

Una vez programado el potenciómetro y calibrado con agua destilada, lo instalaremos en el fermentador como se muestra en la figura 6.

Mediremos el pH de una solución de lactosuero durante unos minutos para su evaluación y determinación del correcto funcionamiento del electrodo.



Figura 4 Evaluación del sensor

Resultados

En este apartado se presentan los resultados que obtuvimos midiendo pH con el sensor PH-4502C instalado en el fermentador. El voltaje generado se convierte en un valor de pH, utilizando la ecuación de Nernst, que relaciona el potencial eléctrico con la concentración de iones:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{a_{H^+}}{a_{H^+0}}\right) \dots \text{(ec. 1)}$$

Después de realizar las mediciones con el PH-4502 instalado en el fermentador optamos por cotejar esta información con el pH metro de mesa HI-2221 que se encuentra en la torre de ingeniería de la facultad de ciencias químicas, para después calcular el margen de error.

Tabla 1 Calculo de error

Sensor de pH PH-4502C	sensor de pH HI-2221	PH4502C-HI2221	PH4502C-HI2221/PH4502C	*100%	% de error
6.53	6.54	-0.01	-0.001531394	100%	-0.00153139
6.54	6.55	-0.01	-0.001529052	100%	-0.00152905
6.54	6.55	-0.01	-0.001529052	100%	-0.00152905
6.54	6.55	-0.01	-0.001529052	100%	-0.00152905
6.55	6.56	-0.01	-0.001526718	100%	-0.00152672
6.56	6.57	-0.01	-0.00152439	100%	-0.00152439
6.56	6.57	-0.01	-0.00152439	100%	-0.00152439
6.57	6.58	-0.01	-0.00152207	100%	-0.00152207
6.57	6.58	-0.01	-0.00152207	100%	-0.00152207
6.57	6.58	-0.01	-0.00152207	100%	-0.00152207
					-0.00152603

Ecuación para calcular el error:

$$E = \frac{\text{valor exacto} - \text{valor aproximado}}{\text{valor exacto}} (100) \dots \text{(ec.2)}$$

Con la ecuación anterior calculamos el error de cada una de las lecturas de ambos potenciómetros, para después poder hacer una comparación entre las mediciones arrojadas por los instrumentos. Con la gráfica de la figura 7 podemos observar los resultados arrojados por los potenciómetros. El margen de error que obtuvimos fue de -0.001%, basado en la teoría consultada (Harris, D. C. 2020) nos dice que un margen de error aceptable para la medición de pH debe de ser de ± 0.01 a ± 0.1 pH, por lo cual estamos dentro del rango de aceptación.

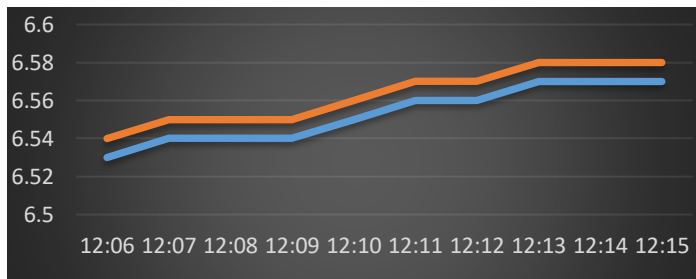


Figura 7 comparación entre los potenciómetros

Conclusiones

La rehabilitación del sistema de medición de pH en el fermentador de 3L que se encuentra en el corredor industrial de la Facultad de Ciencias Químicas ha sido un proyecto exitoso, se logró instalar el nuevo potenciómetro, garantizando mediciones precisas y en tiempo real durante los procesos de fermentación marcando un margen de error de, entre un potenciómetro normal. La implementación de un potenciómetro controlado por Arduino ha sido un arreglo económico y eficiente para el monitoreo del pH, extendiendo la vida útil del fermentador y asegurando su funcionalidad para futuras prácticas.

Bibliografía

1. Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). *Getting started with Arduino* (4th ed.). Make Community, LLC.
2. Renneberg, R. (2016). *Biotechnology for beginners* (2nd ed.). Academic Press
3. Kurniawan, A. (2017). *Arduino programming with .NET and sketch*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2659-9>



Resolución de problemas de balance de materia de un evaporador de múltiple efecto mediante la creación de un simulador online

Osbaldo Hernández Guevara¹ Mayra Viviana Velazquez Macario²

^{1,2} Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 12 de febrero 2026

Aceptado 21 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen- La experiencia educativa evaporación y cristalización del programa educativo de ingeniería química, es de las experiencias que conforman el área de ingeniería aplicada en la retícula y es de valiosa importancia; es una disciplina que permite al estudiante adiestrarse en el manejo de cálculo y solución de problemas aplicados a evaporadores de múltiple efecto, es indispensable para el desempeño profesional proyectos con especificaciones y normas de construcción, dentro de un marco de responsabilidad y profesionalismo.

Debido a que el presente curso se lleva a cabo el tema de balance de materia y energía en evaporadores de múltiple efecto, para una mejor comprensión de este, se desarrollaron en clases, problemas como actividades formativas y como actividad final del curso fue un proyecto en un simulador online creado por el titular de la experiencia educativa alcanzando el estudiante un aprendizaje significativo.

El proyecto se desarrolló con 3 softwares (php, html y mysql), el sitio web favorece a la adquisición del aprendizaje significativo del alumno debido a que, con ejemplos en clase en la solución de problemas expuestos por el maestro de manera manual, se comprueban y se desarrollan otros problemas utilizando las herramientas creadas en el sitio web como las entradas de materias o flujos así como las salidas del producto y residuos de evaporador de múltiple efecto.

Estas actividades formativas contribuyen a la formación del estudiante aunado con las actividades sumativas.

De un total de 29 alumnos el 100% aprobó el curso acreditando así el proyecto educativo innovador.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

La adquisición del aprendizaje significativo mediante el modelo educativo basado en competencias tiene una gran relevancia, así como la necesidad del empleo de tecnologías de la comunicación e información (TIC's) (Noblecilla & Espinoza 2025).

Es importante el uso de herramientas digitales para la resolución de problemas siendo en ocasiones un simulador, el cual reduce los tiempos en la solución de estos y se obtiene una mejor comprensión enriqueciendo el conocimiento y aplicarlo a otros temas relacionados con su uso.

Durante el proceso de solución de problemas se realizó una evaluación formativa del balance de materia y energía de forma manual.

El programa online diseñado en el sitio web, consiste en introducir los valores de las cargas, así como algunas fracciones de entrada y de igual forma de salida.

En el desarrollo de la investigación, el diseño de una plataforma virtual para la gestión de las actividades de la experiencia educativa evaporación y cristalización de la sección 2 para el programa educativo de Ingeniería Química en donde el estudiante puede resolver diferentes problemas relacionados con evaporadores de múltiple efecto.

En el presente proyecto, se ofrecen al estudiante las herramientas digitales necesarias para la resolución de problemas de evaporadores de doble y triple efecto, específicamente los que

conlleven el tema de balance de materia y energía en donde es indispensable para la comprensión de los temas, enfocando al estudiante la creación de una visión diferente respecto al uso básico de simuladores para el balance de materia y energía.

El empleo de simuladores puede aprovecharse para determinar cargas de entrada al sistema y salida de este en unidades de masa o de fracción (Bücker & Li 2020).

La predicción del resultado dependiendo de las variables que se llegan a ingresar nos permite entender lo visto en clase con los problemas resueltos de forma manual y después comparándolos con los resultados del simulador online.

Una ventaja es que el alumno podrá utilizar su celular mediante su navegador para la resolución de problemas en clase.

Metodología

El desarrollo del sitio web, así como la implementación en la experiencia educativa son factores importantes para describir su metodología.

Desarrollo de la plataforma digital en php, mysql y html

Podrá el estudiante ingresar al enlace de la plataforma ubicado en

<https://www.revistamexicana.org/evaporador/multiple>

En la resolución de problemas tenemos dos formas de realizarlo, mediante la resolución de evaporadores de doble efecto y la resolución de evaporadores de triple efecto.

Se ingresa al sitio web como se muestra en la figura 1 y se elige en el menú

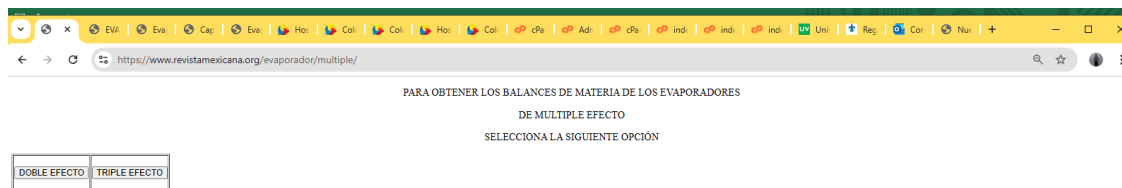


Figura 1. Ingreso al sitio web eligiendo doble o triple efecto Después ingresamos al siguiente submenú Figura 2.



Figura 2. Submenú de problemas

El primer problema que se resolvió en el simulador fue el siguiente:

En un evaporador de doble efecto se han de tratar 30 000 kg /h de una disolución que no presenta un aumento apreciable en su punto de ebullición con la concentración. La disolución se alimentará a contracorriente al segundo efecto y a 20 ° C y se debe concentrar desde un 10 % hasta un 40 % de sólidos. En el segundo efecto el vacío es tal que la solución hierve a 50 ° C ° C. ¿Cuánto líquido concentrado se obtiene? ¿Cuánta agua total se evapora?

En el mismo simulador se explica de manera gral. sus principios del balance de materia (Figura 3)

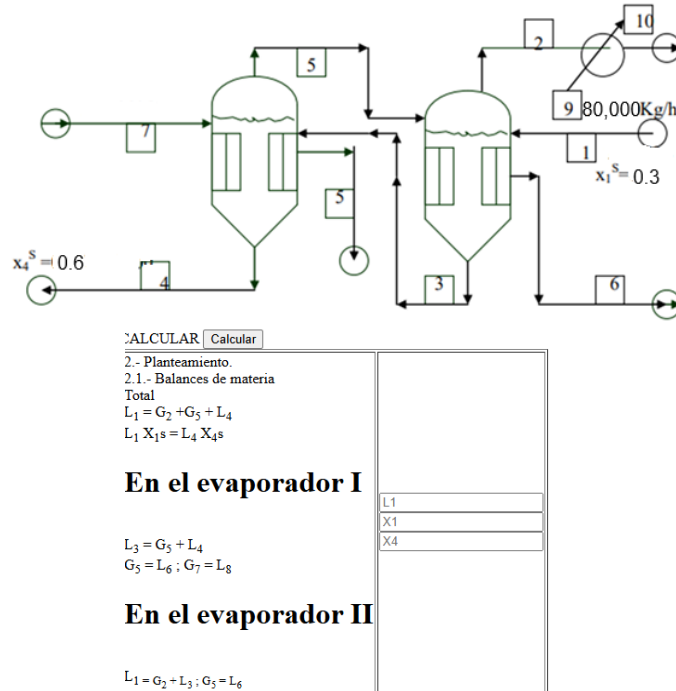


Figura 3. Descripción general del balance de materia del problema

Posteriormente introducimos los valores indicados en el problema (Figura 4).

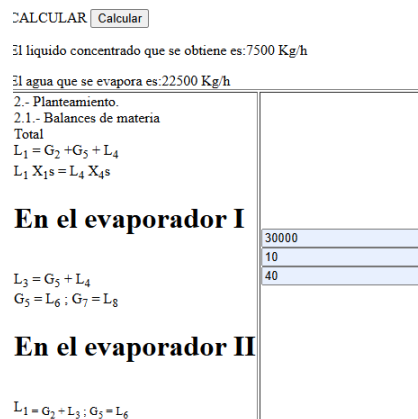


Figura 4. Se introdujeron valores del sistema

Se obtiene el valor del concentrado introduciendo 30000 kg/s y en la fracción 1 X_1 son 10% y en la fracción de salida X_4 de 40% dando como resultado 7500 kg/h del líquido concentrado y 22500 kg/h del agua que se evapora.

Se desarrollaron otros dos problemas semejantes que a continuación se muestran en la figura 5 y 6.

Problema n°2.

En un evaporador de doble efecto se han de tratar 80 000 kg/h de una disolución que no presenta un aumento apreciable en su punto de ebullición con la concentración. La disolución se alimentará a contracorriente al segundo efecto y a 20 °C y se debe concentrar desde un 30 % hasta un 60 % de sólidos. En el segundo efecto el vacío es tal que la solución hierve a 50 °C °C. ¿Cuánto líquido concentrado se obtiene? ¿Cuánta agua total se evapora?

$x_1 = 0.6$

$x_2 = 0.3$

$x_3 = 0.6$

$x_4 = 0.3$

En el evaporador I

$L_1 = G_1 + L_4$
 $G_2 = L_4; G_3 = L_4$

En el evaporador II

Problema n°2.

En un evaporador de doble efecto se han de tratar 80 000 kg/h de una disolución que no presenta un aumento apreciable en su punto de ebullición con la concentración. La disolución se alimentará a contracorriente al segundo efecto y a 20 °C y se debe concentrar desde un 30 % hasta un 60 % de sólidos. En el segundo efecto el vacío es tal que la solución hierve a 50 °C °C. ¿Cuánto líquido concentrado se obtiene? ¿Cuánta agua total se evapora?

$x_1 = 0.6$

$x_2 = 0.3$

$x_3 = 0.6$

$x_4 = 0.3$

En el evaporador I

$L_1 = G_1 + L_4$
 $G_2 = L_4; G_3 = L_4$

En el evaporador II

Figura 5 y 6 Problemas propuesto para su resolución

De igual forma se llevó a cabo la programación con html y php (Figura 7).

```

23 var altura_del_menu = $('menu').outerHeight(true);
24
25 if ($(window).scrollTop() >= altura_del_header){
26     $('menu').addClass('fixed');
27     $('wrapper').css('margin-top', (altura_del_menu) + 'px');
28 } else {
29     $('menu').removeClass('fixed');
30     $('wrapper').css('margin-top', '0');
31 }
32 }
33
34 </script>
35 <meta charset="UTF-8">
36 <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
37 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
38 <title>CV</title>
39 <link rel="stylesheet" href="hutton.css" />
40 <link rel="stylesheet" href="estilos.css" />
41 <title>EVAPORADOR</title>
42 <link href="login-box.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
43
44 </head>
45 <body>
46 <h1> Problema n°2. </h1><br>
47 <h3>En un evaporador de doble efecto se han de tratar 80 000 kg/h de una<br>
48 disolución que no presenta un aumento apreciable en su punto de e
49
50 <form action="" method="POST" >
51 <table border="1">
52 <tbody>
53 <div class="image-container">
54  <br>
55 <table border="1">
56 <tbody>
57 <tr><td>
58 <tr><td>
59 2.- Planteamiento. <br>
60 2.1.- Balances de materia <br>
61 Total <br>
62  $L_{sub>1</sub>} = G_{sub>2</sub>} + G_{sub>5</sub>} + L_{sub>4</sub>}$  <br>
63  $L_{sub>1</sub>} = G_{sub>2</sub>} + G_{sub>5</sub>} + L_{sub>4</sub>}$  <br>
64 <h3>En el evaporador I </h3><br>
65  $L_{sub>3</sub>} = G_{sub>5</sub>} + L_{sub>4</sub>}$  <br>
66  $G_{sub>5</sub>} = L_{sub>6</sub>}$  ;  $G_{sub>7</sub>} = L_{sub>8</sub>}$  <br>
67 <h3>En el evaporador II </h3><br>
68  $L_{sub>1</sub>} = G_{sub>2</sub>} + L_{sub>3</sub>}$  ;  $G_{sub>5</sub>} = L_{sub>6</sub>}$ <br></td>
69 <td>
70 <input name="L1" type="text" class="text" placeholder="L1" required=""><br>
71 <input name="X1" type="number" class="text" placeholder="X1" required="" step="0.01"><br>
72 <input name="X4" type="number" class="text" placeholder="X4" required="" step="0.01"><br></td></tr>
73
74
75 <div class="button">
76 <input type="submit" name="crear2" value="Calcular" /><br>
77
78 </div>
79 </form>
80 </div>
81 </body>
82 </html>

```

Figura 7. Programación en php de los problemas presentados



Se encargaron mas de 20 problemas del siguiente documento que se resolvieron en clase y se eligieron programas 3 de éstos.

<https://www.revistamexicana.org/memoria.pdf>

Resultados.

El uso del simulador en el balance de materia y energía de un evaporador de simple efecto ofreció una aportación importante al aprendizaje significativo al estudiante en la resolución de los problemas del simulador. Los resultados favorecieron al estudiante aprobando la actividad el 100% del grupo.

La explicación teórica y la aplicación de la actividad con un simulador establece una nueva forma de enseñanza la cual contribuye a la formación integral de los estudiantes.

Conclusiones

En esta primera etapa de desarrollo del sistema, el empleo del sitio web ofrece una mejor perspectiva en la disminución del índice de reprobación debido a que el alumno puede apoyarse de la herramienta digital para la resolución de problemas empleando su celular.

En el presente curso Febrero-Julio 2025, aprobaron la actividad del proyecto final el 100% de 29 alumnos inscritos.

Se tuvo un aprovechamiento de 10 de promedio por todo el grupo observando la viabilidad del sitio para implementarla en los siguientes periodos.

Bibliografía

Noblecilla-Espinoza, I. K., & Espinoza-Guamán, E. E. (2025). *El impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en el aprendizaje secundario: una revisión sistemática*. **Sociedad & Tecnología**, 8(S1), 292–303. <https://doi.org/10.51247/st.v8iS1.598>

Bücker, M., & Li, P. (2020). *Modular simulation model for falling film evaporators with novel approach to manage dominant time-varying transport delays*. *Computers & Chemical Engineering*, 132, 106604. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106604>



Predicción del comportamiento hidrodinámico de un reactor de tanque agitado para la agitación de lactosuero con trazas de melaza mediante CFD

Julián de Jesús Martínez Juárez¹ Osbaldo Hernández Guevara² Guadalupe Vivar Vera³

^{1,2} Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 15 de febrero 2026

Aceptado 24 de marzo de 2026

Publicado: 20 de abril de 2026

Resumen. El lactosuero, un residuo líquido que se genera en grandes cantidades durante la producción de queso, suele ser desechado sin tratamiento, a pesar de contener compuestos valiosos como la lactosa. Esta investigación propone aprovechar ese subproducto como materia prima para producir bioetanol, complementándolo con pequeñas cantidades de melaza, lo que mejora su contenido de azúcares fermentables. Para ello, se llevó a cabo un proceso de fermentación a escala laboratorio, que permitió obtener datos fisicoquímicos del medio, como el pH, la concentración de sólidos solubles, la viscosidad y la densidad. Estos datos fueron fundamentales para simular, mediante dinámica de fluidos computacional (CFD), el comportamiento del fluido en un reactor de tanque agitado. La herramienta utilizada para la simulación fue Ansys Fluent, 2025 r2 enfocándose en un análisis en estado estacionario. A través de la simulación se analizaron aspectos clave como el flujo, la distribución de velocidades y la mezcla dentro del biorreactor. Estos resultados aportan una visión más clara sobre cómo se comporta el medio fermentativo dentro del sistema, lo que puede ser de gran utilidad para futuras etapas de escalado o para mejorar el diseño de reactores similares. En conjunto, este trabajo busca aportar al aprovechamiento de residuos agroindustriales a través de procesos biotecnológicos más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

Hoy en día la industria química debe afrontar diferentes retos. Desde los continuos cambios en el mercado, la gran competencia que existe entre empresas y la necesidad de adaptarse ante las nuevas e innovadoras tendencias. Debido a esto, es crucial encontrar soluciones eficientes que permitan mejorar los procesos ya establecidos o crear nuevos integrando todas las mejoras aplicables. Alrededor del 50% del suero producido en el mundo recibe algún tipo de tratamiento para su recuperación, principalmente porque los pequeños y medianos productores no pueden adquirir alguna tecnología para aportar valor añadido a este residuo (Tavares & Malcata, 2016). Uno de los principales productos recuperados del suero de queso es la lactosa, que puede utilizarse como ingrediente en la producción de diversos productos (fórmula infantil, pan, dulces, carnes, etc.). Sin embargo, cuando este azúcar se fermenta junto con otros nutrientes esenciales para el crecimiento de microorganismos, es posible obtener una amplia variedad de subproductos (Amado et al., 2016). La simulación se considera como una herramienta que permite diseñar procesos químicos para analizarlos, evaluarlos u optimizarlos. Se representa así un proceso que incluye transformaciones químicas, o físicas, mediante modelos matemáticos que involucran el cálculo de balances de masa y energía. Estos balances, a su vez, están acoplados a ecuaciones de equilibrio de fases, cinética química y ecuaciones de transferencia de energía, masa y materia (AIMPLAS, 2023). En la presente investigación se llevará a cabo la simulación mediante SolidWorks y Ansys Fluent el cual sirve para simular con eficacia el flujo de fluidos, así como la transferencia de calor y las fuerzas de esos fluidos fundamentales para el éxito del diseño.

Metodología

La metodología para la predicción hidrodinámica de la fermentación en un biorreactor 18 mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) implica una serie de pasos sistemáticos que combinan el modelado matemático con herramientas de simulación numérica por lo anterior se emplearon datos experimentales de Vásquez (2025).

Obtención de datos experimentales

La experimentación se realizó en un fermentador marca pigmat de 50L de volumen el cual forma parte de un banco de bioetanol en donde también se puede llevar a cabo la destilación. El presente fermentador se encuentra ubicado en el corredor industrial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. Se analizó la mezcla de 30L de Lactosuero con 4 L de Melaza de la industria de la caña, más 10 L de agua destilada. Para controlar el pH durante la fermentación, se empleó un potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 221. Inicialmente, la medición del medio en el fermentador arrojó un pH de 4.3. Fue necesario ajustar este valor mediante la adición de NaOH para mantenerlo en el rango deseado de 4.5 a 5.5. Como resultado, el pH se mantuvo alrededor de 4.9 durante aproximadamente 36 horas de fermentación. Aunque se observaron algunas fluctuaciones, el comportamiento general del pH tendió a la acidez, (Figura 1)



Figura 1 Banco de bioetanol Pigmat

Los reactores se calientan por medio de la doble envoltura y los sistemas de agitación (50 rpm) aseguran la homogeneidad del medio y favorecen la transferencia térmica de la 19 pared. La pantalla de supervisión permite adquirir y guardar las medidas de temperatura y pH para estudiar la influencia de estos parámetros. Cuando el medio se encuentre bajo las condiciones idóneas de temperatura a 36°C, pH de 4.5 a 5.5 y azúcares en 20 g/L se procede a pesar en la balanza granataria 600 g de levadura *Saccharomyces Cerevisiae* para cada fermentador de 30L activando las levaduras previamente con agua tibia y posteriormente se inoculará en el medio para iniciar la fermentación. Durante la fermentación se hicieron lecturas de control manteniendo la temperatura en un rango mesofílico (36°C), se midieron los azúcares fermentables, así como el control del pH para tener el mejor rendimiento posible (Bamforth & Cook, 2019).

Cinéticas fermentativas

Se llevaron a cabo cinéticas fermentativas obteniendo muestras cada 4 horas (Figura 2 y 3)



Figura 2 y 3. Cinéticas fermentativas de la mezcla lactosuero-melaza
Referencia: autoría propia

Preparación de la simulación CFD

Definición del Problema y Geometría

Se define la geometría exacta del biorreactor, incluyendo el tanque, los impulsores (agitadores) y baffles. La agitación por flujo ascendente y agitación mecánica en los reactores aerobios asegura la homogeneidad del pH, la temperatura y el desprendimiento de los gases generados en el biorreactor. Se ha observado que una agitación adecuada mantiene un mayor contacto de las bacterias con el sustrato, lo cual conlleva al crecimiento de la biomasa microbiana y mejorar la eficiencia global de la remoción de la materia orgánica. La primera etapa de una simulación por CFD consiste en definir la geometría del caso de se establecen las condiciones de operación, como la velocidad de agitación (RPM), el caudal de aire u otros gases y las propiedades físicas del medio de cultivo (viscosidad, densidad, tensión superficial). Se diseñó en Solidworks® el biorreactor así como el sistema de agitación de 4 aspas los cuales giraban en promedio de 50 rpm (figura 4 y 5).

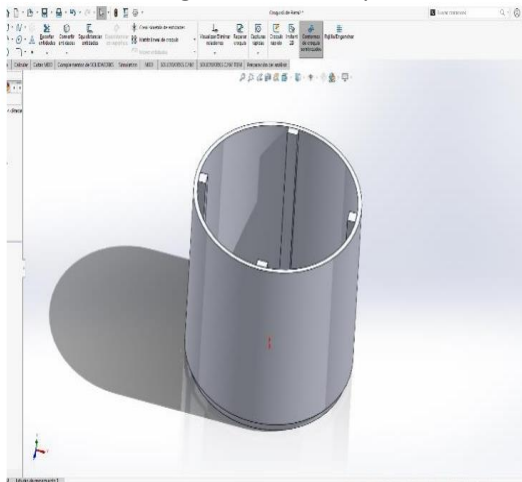


Figura 4 Diseño de biorreactor

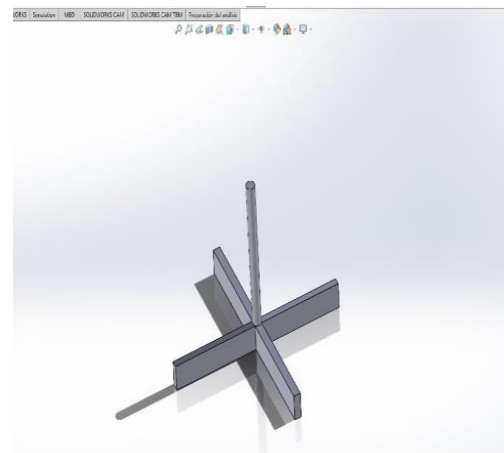


Figura 5 Diseño del sistema de agitación el Solidworks®

Para desarrollar la simulación se procedió a establecer las condiciones físicas y de criterios de las variables de la simulación CFD en el biorreactor en el software Space claim de Ansys (Figura 6)

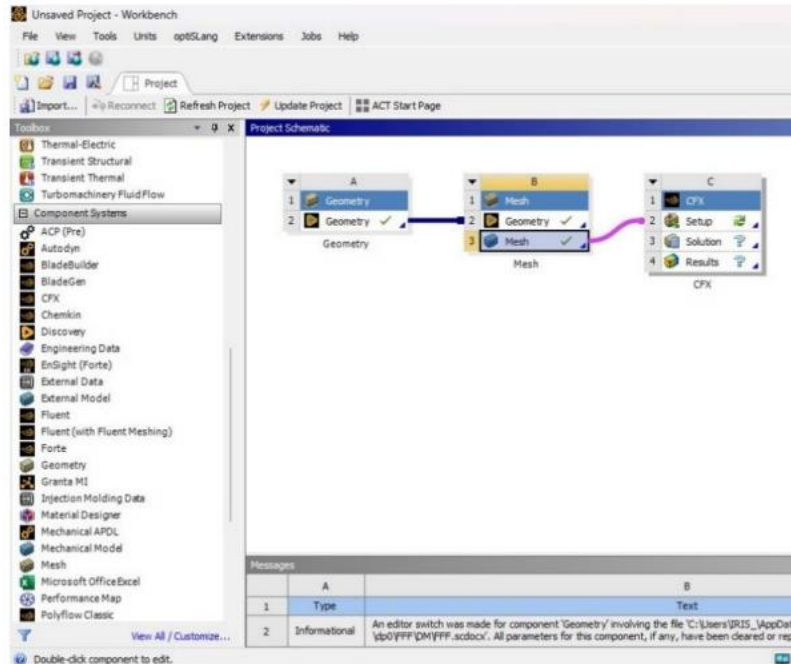


Figura 6 Interfaz de operaciones de Ansys

Se exportó la geometría al software Ansys 2025R2 para proceder con la configuración del mallado (Figura 7)

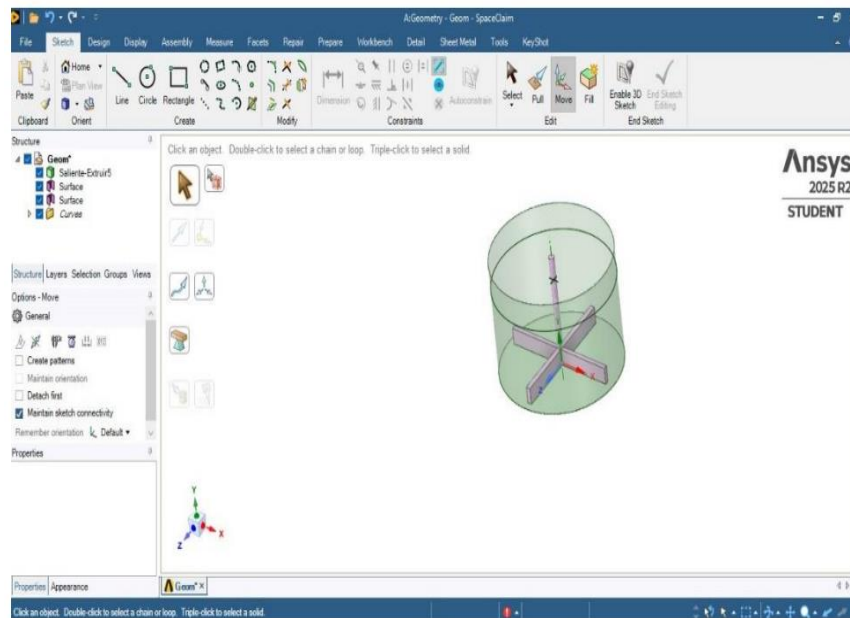


Figura 7 Importación de geometría a software Ansys

Modelado Matemático (Ecuaciones de Gobierno)

Se seleccionan las ecuaciones que describen el flujo de fluidos, principalmente las ecuaciones de Navier-Stokes. Para la simulación del reactor aerobio es necesario emplear un modelo matemático para simular los campos de flujo. Se considera que el sustrato en el fermentador biorreactor se comporta como fluido Newtoniano que estará regido por las ecuaciones de Navier-Stokes y el fluido se comporta laminar. Así, las restricciones para el modelado y la simulación en CFD son:

- El fluido es incompresible y fluido Newtoniano isotérmico.
- El flujo en el reactor es estacionario y en 3 dimensiones.
- El modelo de flujo se limita a no considerar la transferencia de calor, debido a que la temperatura en el reactor anaerobio es constante: 30°C.
- Se considera una sola fase en el fluido despreciando la carga orgánica y las burbujas generadas en fluido.

Ecuaciones de continuidad y movimiento

Para la simulación del caso de estudio en CFD se parte de dos ecuaciones fundamentales: la ecuación de continuidad y la ecuación de cantidad de movimiento.

- Ecuación de Continuidad. En su forma de notación tensorial.

$$(\rho v_i)_i = 0 \quad \dots \quad \text{Ec (1)}$$

Donde ρ es la densidad del fluido y v_i la velocidad del fluido en forma de tensor.

- Ecuación de Movimiento. La conservación de momento en la dirección i , está dada por:

$$\rho v_{j,i} v_i = -P_{,j} + \tau_{ij,i} + \rho F_j \quad \dots \quad \text{ec (2)}$$

Donde P es la presión estática, T_{ij} tensor de esfuerzos cortantes y ρF_i Fuerza gravitacional en la dirección i . El tensor de esfuerzos cortantes T_{ij} , se expresa:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad \dots \quad \text{ec (3)}$$

Donde μ es la viscosidad molecular del fluido.

Modelo de turbulencia (k- ϵ) standard.

Los modelos de turbulencia de 2 ecuaciones son los más utilizados en problemas CFD industriales. Se resuelven dos ecuaciones de transporte que modelan las tensiones de Reynolds basado en el enfoque viscosidad de remolino. La robustez, economía y precisión razonable para una amplia gama de flujos turbulentos explican su popularidad de uso industrial y simulaciones de transferencia de calor. Los modelos de dos ecuaciones han sido los modelos más populares para una amplia gama de análisis en ingeniería e investigación. Estos modelos proporcionan ecuaciones de transporte independientes, tanto para la escala de longitud de turbulencia y energía cinética turbulenta. Estos modelos están limitados en los flujos en que las consideraciones fundamentales no son groseramente violadas (Ono *et al.*, 2025)

La mayoría de estos modelos hacen la misma suposición fundamental de equilibrio local de producción y disipación turbulenta. Este supuesto implica, que las escalas de la turbulencia son

localmente proporcionales a las escalas del flujo medio; por lo tanto, la mayoría de los modelos de dos ecuaciones estarán en error cuando se aplica a los flujos en desequilibrio. Sin embargo estos modelos siguen siendo populares y se pueden utilizar para dar buenos resultados en ingeniería cuando se aplica a casos apropiados.

El modelo semi-empírico k-ε es el modelo de turbulencia de dos ecuaciones de transporte más utilizado; para la energía cinética turbulenta (k) y su tasa de disipación turbulenta (ε). K y ε se tienen las dos siguientes ecuaciones

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad \text{ec (4)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \text{ec (5)}$$

G_k y G_b es la generación de energía cinética turbulenta debido al gradiente de velocidad y flotabilidad. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ y $C_{3\varepsilon}$ son constantes. σ_k σ_ε son los números turbulentos de Prandtl. La viscosidad turbulenta (μ_t) se calcula combinando K y ε de la siguiente forma (C_u es constante),

- Se incorporan modelos de **turbulencia** (como k-epsilon o k-omega) para predecir el esfuerzo cortante y la disipación de energía, que son cruciales para el crecimiento celular y el tamaño de las burbujas.
- Se añaden ecuaciones para la **transferencia de masa** (ej. transferencia de oxígeno, kLa) si se requiere analizar la aireación.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \dots \quad \text{ec (6)}$$

Configuración y Simulación Numérica:

- Se utilizan programas de software de CFD ANSYS Fluent, para resolver las ecuaciones de gobierno de forma iterativa.
- Se especifican las condiciones de contorno (velocidades de entrada, presiones, condiciones de pared.)

Generación de la Malla (Discretización)

La malla en 3D es transformada a celdas poliédricas y está constituida por 43444 celdas para el reactor de 0,005 m³. La calidad del mallado se analiza mediante el criterio skewness. En esta investigación todas las celdas presentan un valor skewness inferior a 0.70, lo que indica que el mallado es aceptable. Se utilizó la técnica de volúmenes finitos para convertir las ecuaciones de Navier-Stokes en ecuaciones algebraicas que pueden ser resueltas numéricamente. Las paredes del tanque, las superficies del agitador y los baffles en los biorreactores se tratan como condiciones de no deslizamiento y funciones de pared estándar. Mallado en 3D del biorreactor de 0.005 m³ con 43444 celdas (Figura 8).

- La geometría se divide en un gran número de pequeños volúmenes de control (malla o rejilla). La calidad y densidad de la malla en áreas críticas, como alrededor de los impulsores, son fundamentales para la precisión de los resultados.
- Para sistemas con partes móviles, como un

agitador, se puede emplear una malla móvil o técnicas como la Malla Deslizante (Sliding Mesh) o MRF (Multiple Reference Frame).

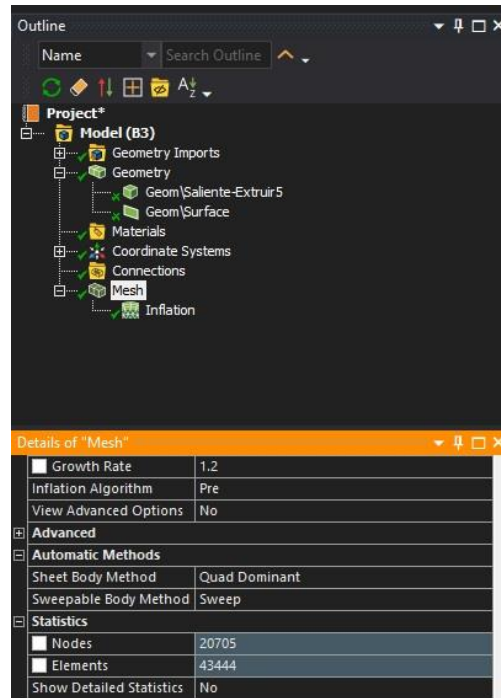


Figura 8 Determinación de propiedades de la malla

Se realizó el mallado del biorreactor estableciendo las condiciones del tipo de simulación y el software a emplear que es Ansys CFX (Figura 9).

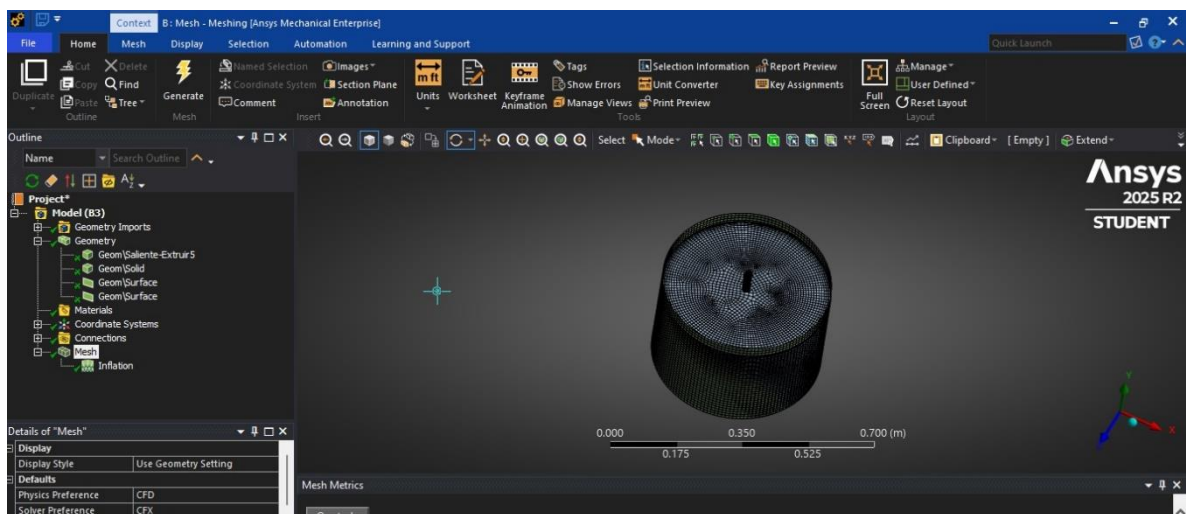


Figura 9 Geometría del biorreactor con mallado

Se realizó un corte a la mitad del biorreactor para visualizar que el mallado interno se encuentre completo (Figura 10).

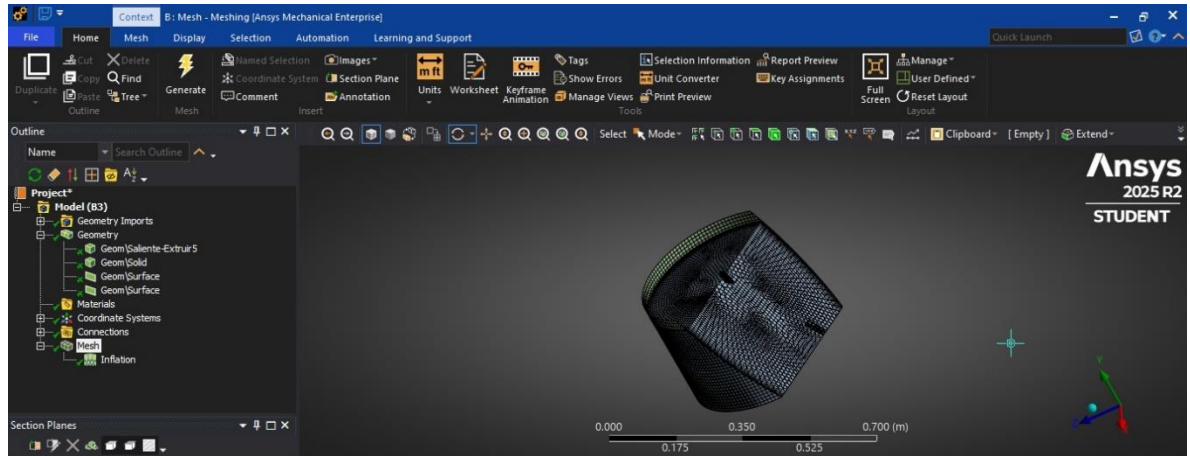


Figura 10 Se muestra la malla interna del biorreactor

Simulación CFD

Las condiciones de op. y criterios simulados en esta investigación se basan en valores comúnmente usados en cultivos de microorganismos aerobios en la figura 11 se observa la forma de agitación de todo el medio con los sustratos de lactosuero con trazas de melaza.

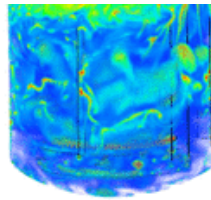


Figura 51 Simulación CFD en el biorreactor

El correcto funcionamiento de los fermentadores aeróbicos agitados requiere que la velocidad de agitación supere con creces el valor para el cual el impulsor se inunda con el caudal de gas predominante y que la transferencia de masa cubra la demanda prevista del cultivo microbiano (Figura 12).

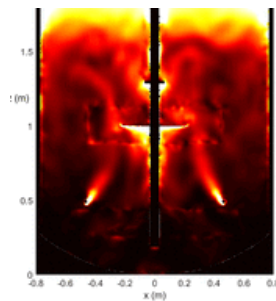


Figura 12 Simulación del sistema de agitación

Conclusiones

Se establecieron de manera adecuada las condiciones geométricas del biorreactor y los criterios para la generación de la malla, logrando una correcta representación del tanque y del sistema de agitación mediante simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD).

El caso de estudio correspondió a un biorreactor de 0.005 m³ con agitación mecánica, destinado a la fermentación de una mezcla de lactosuero con trazas de melaza. El modelo CFD fue implementado como un sistema multifásico, empleando una malla tridimensional tipo Poly-Hexcore, el modelo de volumen de fluido (VOF) para la interacción entre fases, el modelo de turbulencia k- ω y el marco de referencia múltiple (MRF) para la simulación del impulsor, utilizando el software ANSYS Fluent.

La aplicación de estas herramientas permitió evaluar el comportamiento hidrodinámico del sistema, así como analizar la efectividad de la mezcla y su influencia en la transferencia de masa y en la capacidad de mantenimiento de biomasa del biorreactor. El enfoque adoptado demostró ser una alternativa técnica viable para el análisis y mejora del desempeño operativo del equipo.

Los resultados obtenidos mediante simulación mostraron una adecuada concordancia con los datos experimentales, particularmente en la evaluación de parámetros asociados a la eficiencia de mezcla, como el tiempo de circulación y el tiempo de mezclado, lo que respalda la confiabilidad del modelo desarrollado.

Finalmente, el modelo CFD permitió simular los efectos hidrodinámicos derivados de los criterios de escalado evaluados, tales como el número de Reynolds y la relación potencia/volumen (P/V), identificando tendencias relevantes para procesos de escalado. Variables como la velocidad en la punta del agitador, la potencia consumida bajo condiciones de aireación y el coeficiente de transferencia de oxígeno calculados mediante CFD presentaron una correspondencia adecuada con los valores experimentales, confirmando la utilidad de la simulación como herramienta de apoyo en el diseño y análisis de biorreactores de fermentación.

Bibliografía

1. AIMPLAS. (2017, 6 julio). *Simulación de procesos en Aspen Plus*. <https://www.aimplas.es/blog/simulacion-de-procesos-en-aspen-plus/>
2. AIMPLA. (2023, 6 julio). *Simulación de procesos en Aspen Plus*. <https://www.aimplas.es/blog/simulacion-de-procesos-en-aspen-plus/>
3. Amado, I.R., Vázquez, J.A., Pastrana, L., Teixeira, J.A., (2016). Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*. *Food Chemistry* 198, 54–61. doi:10.1016/j.foodchem.2015.11.062
4. Bamforth, C. W., & Cook, D. J. (2019). *Food, Fermentation and Micro-organisms* (2.^a ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119274421>
5. Ono, A., Suzuki, H., Kouchi, T., & Tanaka, K. (2025). *Numerical analysis validating the standard k-epsilon model for the kinetic energy of turbulence subjected to weak but long-lasting wind tunnel blockage acceleration*. *Journal of Fluid Science and Technology*, 20(1). <https://doi.org/10.1299/jfst.2025jfst0004>



Balance de masa y energía por medio de Aspen Plus de la producción de bioetanol a partir de la mezcla de lactosuero a escala piloto

Karla Irene Vasquez Sorcia¹ Osbaldo Hernández Guevara² Jaime Jiménez Guzman³

^{1,2,3} Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 15 de febrero 2026

Aceptado 24 de marzo de 2026

Publicado: 12 de abril de 2026

Resumen. La presente investigación se centra en la simulación, mediante el software Aspen Plus, del proceso de producción de bioetanol a escala piloto utilizando lactosuero y trazas de melaza como materias primas. La motivación surge de la necesidad de la industria química de optimizar procesos y adaptarse a tendencias innovadoras, así como del problema del manejo del suero de leche, un subproducto abundante de la industria láctea con potencial de valorización. La investigación busca identificar los balances de masa y energía del proceso a partir de datos experimentales de un banco de bioetanol. Se destaca el uso de la simulación como una herramienta crucial para el diseño, análisis y optimización de procesos químicos, representando transformaciones físicas y químicas a través de propiedades termodinámicas y de materia que involucran balances de masa y energía. La fermentación y destilación fue en una planta piloto denominada banco de bioetanol ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas en donde se obtuvo bioetanol a partir del lactosuero de la industria quesera y trazas de melaza de la industria cañera. Fue necesario determinar el porcentaje de azúcares fermentables de la materia trabajada, para detener la fermentación y así realizar correctamente la destilación alcohólica, para obtener esto se realizaron una serie de cinéticas cada 4 horas, a partir del primer momento que se inició el proceso de la fermentación y obteniendo una última muestra la cual contempla la cantidad real del alcohol destilado. Obteniendo una cantidad del 20% de alcohol del fermentado en donde el volumen inicial de la mezcla lactosuero-melaza fue inicialmente de 40L incluyendo 800 g de levadura. El proceso se escalo a nivel industrial para llevar a cabo la simulación en donde se logró conocer los resultados finales requeridos, como son el balance de energía y de masa del proceso de destilación. La simulación mostró las alimentaciones de entradas y salidas de componentes convencionales, así como sus composiciones, tanto del destilado como del agotado o vinaza.

Introducción

Hoy en día la industria química debe afrontar diferentes retos. Desde los continuos cambios en el mercado, la gran competencia que existe entre empresas y la necesidad de adaptarse ante las nuevas e innovadoras tendencias. Debido a esto, es imperativo encontrar soluciones eficientes que permitan mejorar los procesos ya establecidos o crear nuevos integrando todas las mejoras aplicables. En la fabricación de los productos lácteos sólo se aprovechan del 10 % hasta el 20 % del producto completo en la elaboración de sus derivados, mientras que, el 85 % y hasta el 90 % es suero de leche. Además, se estima que por cada kilogramo de queso producido se generan nueve litros de suero de leche (Zandona, 2021).

Hoy en día sólo alrededor del 50% del suero producido en el mundo recibe algún tipo de tratamiento para su recuperación, principalmente porque los pequeños y medianos productores no pueden adquirir alguna tecnología para aportar valor añadido a este residuo (Tavares & Malcata, 2016). Uno de los principales productos recuperados del suero de queso es la lactosa, que puede utilizarse como ingrediente en la producción de diversos productos (fórmula infantil, pan, dulces, carnes, etc.). Sin embargo, cuando este azúcar se fermenta junto con otros nutrientes esenciales para el crecimiento de microorganismos, es posible obtener una amplia variedad de subproductos (Amado *et al.*, 2016). En la presente investigación se llevará a cabo la simulación mediante el programa Aspen Plus



identificando el balance de masa y energía a partir de datos experimentales de un banco de bioetanol para la producción a escala piloto, a partir de lactosuero y trazas de melaza. Por lo anterior, se emplea la simulación y se considera como una herramienta que permite diseñar cualquier tipo de proceso químico para analizarlo, evaluarlo u optimizarlo. Se representa así un proceso que incluye transformaciones químicas o físicas, mediante modelos matemáticos que involucran el de balances de masa y energía. Estos balances, a su vez, están acoplados a ecuaciones de equilibrio de fases, cinética química y ecuaciones de transferencia de energía y masa (AIMPLAS, 2022).

Metodología

La materia prima empleada es el lactosuero el cual proviene de la empresa “Quesos Plauchú” de la cd. de Orizaba, Ver. Se adquirieron 60 L de muestra y la melaza de la industria azucarera del ingenio de Motzorongo, el cual ya se contaba en torre de ingeniería la cual contiene 70% de azúcares. El agua destilada utilizada proviene de la torre de ingeniería química de la Facultad de Ciencias Químicas. Se utilizó la levadura de panificación *Saccharomyces cerevisiae*, comercializada por la empresa LESSAFRE.

Determinación de azúcares

Se llevo a cabo el análisis de azúcares del sustrato mediante el refractómetro y en donde se realizaron diferentes mezclas estableciendo un diseño de experimentos unifactorial y el factor a mezclar será la melaza hasta alcanzar los azúcares fermentables deseables en la mezcla.

Determinación de carbohidratos fermentables

De acuerdo con la muestra inicial se midió los sólidos solubles en donde con una proporción de 30 L de lactosuero por 2 L de melaza, 8 L de agua y de acuerdo con lo que se fue adicionando hasta alcanzar los sólidos solubles deseables.

La determinación de azúcares totales en soluciones acuosas se llevó a cabo por el método de fenol-sulfúrico, este método se basa en una valoración colorimétrica de hidratos de carbono que utiliza una disolución de glucosa/sacarosa como patrón (0 a 100 mg mL⁻¹).

La absorbancia se leyó a 490 nm en un espectrofotómetro UV/vis, como se muestra en la Figura 5. Para realizar la cuantificación de azúcares, se realizó respecto a la curva patrón se preparará la curva patrón de glucosa.

Determinación de pH

Para medir el pH de manera precisa se realiza mediante un potenciómetro, que es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion del hidrógeno. Para la determinación de pH de la mezcla de lactosuero con la melaza, se deberá calibrar el potenciómetro con soluciones reguladoras de pH 4, pH7 y pH10.

Se debe mezclar bien por medio de un agitador, una vez hecho se sumergirá el electrodo en la muestra de manera que lo cubra perfectamente, se hace la medición de pH y se retira el electrodo y se procede a enjuagar con agua destilada, en la Figura 6 se presenta el equipo y medición mencionada.

Fermentación de la mezcla de lactosuero-melaza

Se llevó a cabo el proceso de fermentación en un banco de bioetanol marca Pignat a escala piloto con 2 fermentadores de 50 L, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Banco de bioetanol Pignat

Referencia: Autoría propia.

Los reactores se calientan por medio de la doble envoltura y los sistemas de agitación aseguran la homogeneidad del medio y favorecen la transferencia térmica de la pared. La pantalla de supervisión permite adquirir y guardar las medidas de temperatura y pH para estudiar la influencia de estos parámetros. (Pignat, 2005).

Cuando el medio se encuentre bajo las condiciones idóneas de temperatura a 36°C, pH de 4.5 a 5.5 y azúcares en 27 g/L se procede a pesar en la balanza granataria 600 g de levadura *Saccharomyces Cerevisiae* para cada fermentador de 30L activando las levaduras previamente con agua tibia y posteriormente se inoculará en el medio para iniciar la fermentación.

Durante la fermentación se estuvieron haciendo lecturas de control manteniendo la temperatura en un rango mesofílico (36°C), se midieron los azúcares fermentables, así como el control del pH para tener el mejor rendimiento posible.

Cinéticas fermentativas

Se llevaron a cabo cinéticas fermentativas obteniendo muestras cada 4, Se realizaron análisis para identificar alcohol el cual se realizó mediante un rotavapor, se determinan azúcares, control de pH y temperatura, como se muestra en la Figura 8 y 9.

Desarrollo de la simulación

La simulación permitirá obtener información pertinente de las composiciones de entradas y salidas del proceso.

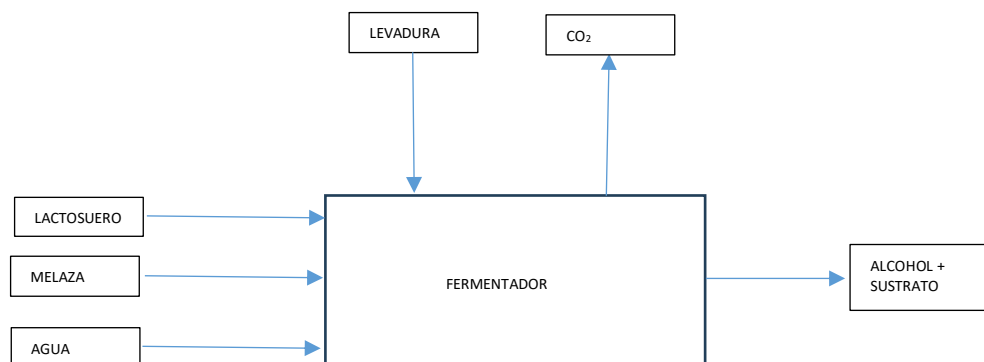
Simulación

a) Especificar los compuestos que se asignarán

Se especifican las especies químicas que participan en el proceso. En este estudio, se considerará la producción de alcohol a partir de melaza, agua, lactosuero y biomasa. La inclusión de alcohol se debe a su presencia como componente inicial en el medio.

b) Asignar el modelo termodinámico

El modelo termodinámico sería el NRTL (Non-Random Two Liquid), o modelo no aleatorio de dos líquidos, es un modelo de coeficiente de actividad ampliamente utilizado en termodinámica y equilibrio de fases. Este modelo permite predecir la no idealidad de las soluciones líquidas, considerando la energía de interacción entre diferentes especies moleculares.

c) Establecer los equipos y las líneas de entrada y salida a partir de la experimentación**Figura 2.** Diagrama con los equipos y líneas de entrada y salida Referencia: Autoría propia**d) Asignar la biomasa como un compuesto no convencional**

Para la definición de las corrientes de alimentación y las reacciones del proceso, fue necesario definir algunos compuestos como hipotéticos, ya que no estaban disponibles en la librería de Aspen. Estos incluyeron Hemicelulosa, Xilosa y Galactosa. Adicionalmente, se estableció una biomasa no convencional para equilibrar la conversión de azúcares a alcohol. La definición de estos componentes se fundamentó en la estructura UNIFAC y en propiedades fisicoquímicas como el peso molecular, el punto de ebullición normal y las propiedades críticas de las materias primas.

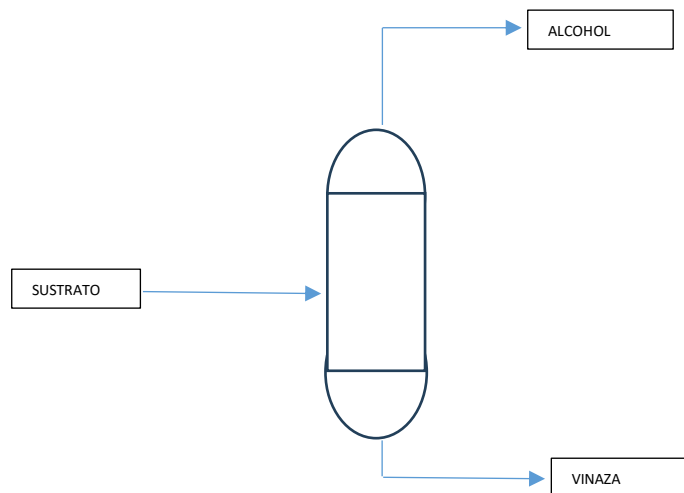
Simulación de la columna de destilación.**a) Especificar los compuestos que se asignarán**

Se ingresan las especificaciones de las especies químicas que intervienen en el proceso.

En este caso establecemos alcohol a partir de Melaza, agua, lactosuero, y biomasa debido a que el contenido del medio existe una concentración de alcohol.

b) Asignar el modelo termodinámico

El modelo termodinámico sería el NRTL (Non-Random Two Liquid), o modelo no aleatorio de dos líquidos, es un modelo de coeficiente de actividad ampliamente utilizado en termodinámica y equilibrio de fases. Este modelo permite predecir la no idealidad de las soluciones líquidas, considerando la energía de interacción entre diferentes especies moleculares.

c) Establecer los equipos y las líneas de entrada y salida a partir de la experimentación**Figura 4.** Equipos y líneas de entrada y salida a partir de la experimentación Referencia: Autoría propia

Resultados

Para iniciar la fermentación se analizó la mezcla de 30L de Lactosuero con 4 L de Melaza de la industria de la caña, más 10 L de agua destilada.

Para controlar el pH durante la fermentación, se empleó un potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 221. Inicialmente, la medición del medio en el fermentador arrojó un pH de 4.3. Fue necesario ajustar este valor mediante la adición de NaOH para mantenerlo en el rango deseado de 4.5 a 5.5. Como resultado, el pH se mantuvo alrededor de 4.9 durante aproximadamente 36 horas de fermentación. Aunque se observaron algunas fluctuaciones, el comportamiento general del pH tendió a la acidez, ver Figura 5.

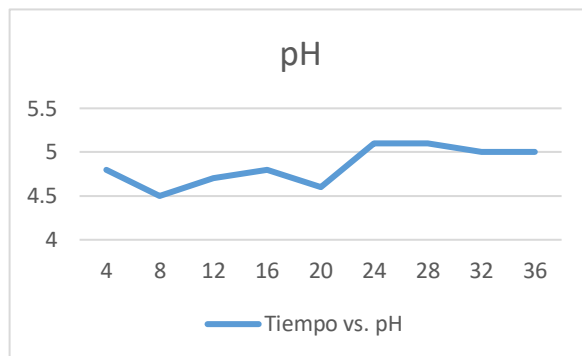


Figura 5. Comportamiento del pH Referencia: Autoría propia

La determinación de azúcares totales en soluciones acuosas se llevó a cabo por el método de fenol-sulfúrico antes mencionado en la metodología, se utilizó una disolución de glucosa/sacarosa como patrón de 0 a 100 mg mL⁻¹. La absorbancia se leyó a 490 nm en un espectrofotómetro UV/VIS. Se procedió a graficar los datos en Excel ver Figura 6, con el objetivo de identificar la correlación óptima. Aquella con el coeficiente de correlación (R^2) más alto, de 0.9936, fue seleccionada para su aplicación a las muestras de hidrólisis. La ecuación resultante de esta gráfica, $y = 157.96x + 18.108$, se empleó posteriormente para determinar la concentración de azúcares producidos a partir de las lecturas de absorbancia del espectrofotómetro.

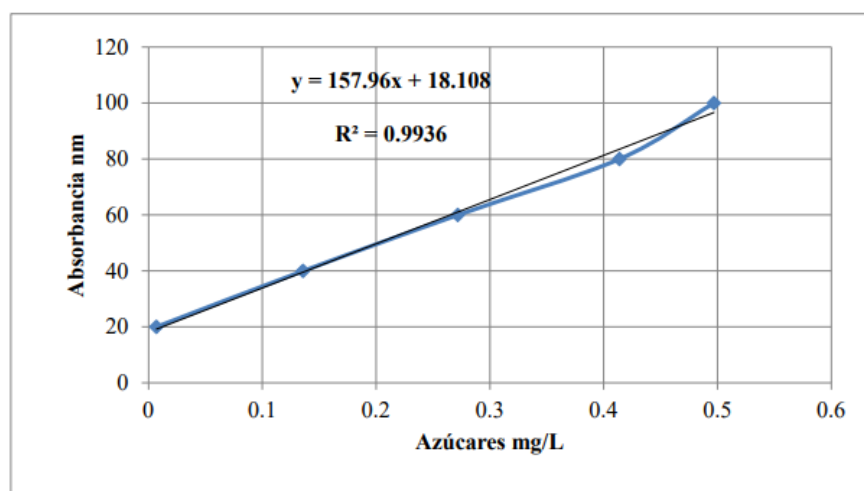


Figura 6. Azúcares mg/L x absorbancia nm Referencia: Autoría propia

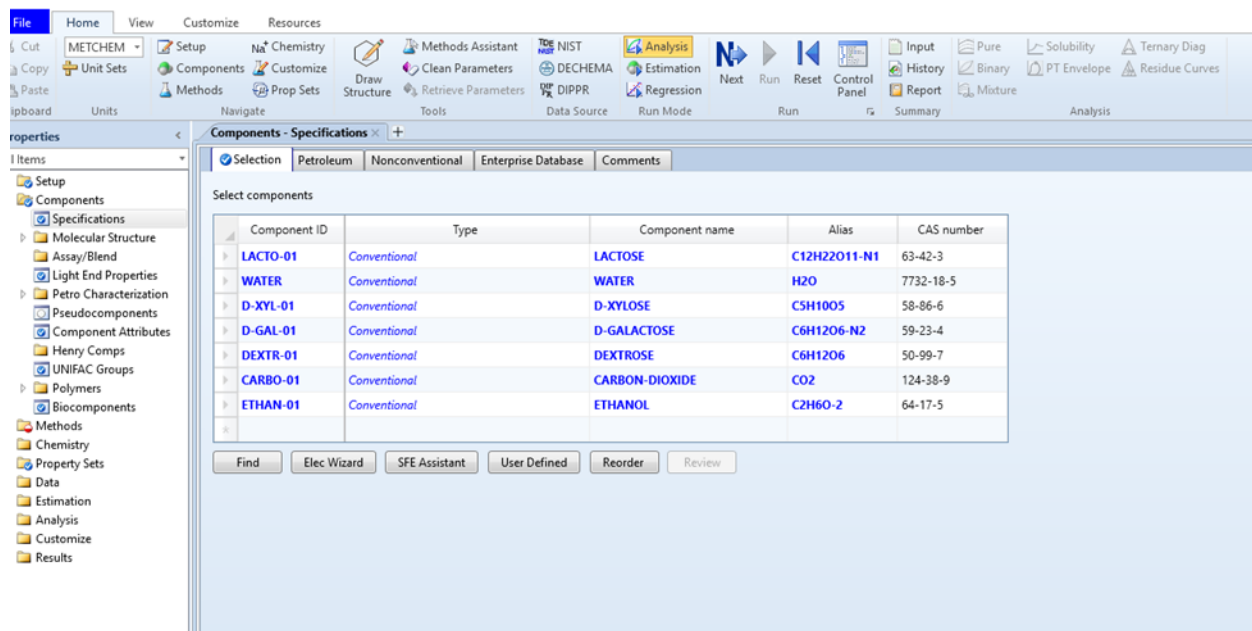
Tabla 1 Resultados de la concentración de azúcares.

Muestra	Absorbancia	Concentración
1	0.570	108.0472
2	0.480	93.8308
3	0.350	73.296
4	0.280	62.2388
5	0.27	60.6592
6	0.21	51.1816
7	0.17	44.8632
8	0.18	46.4428
9	0.15	41.704
10	0.08	30.6468

Una muestra de 500 mL fue sometida a destilación utilizando un rotavapor, operando a una temperatura de 80°C. Este proceso de separación permitió obtener una concentración final de alcohol del 20%.

Simulación de la fermentación en Aspen Plus escalando a un proceso industrial.

a) Especificaciones de los elementos


Figura 7. Especificación de los elementos

Referencia: Tomada de Aspen Plus

Para llevar a cabo la simulación, previamente se deben asignar los componentes convencionales que se encontrarán en el proceso.

En este apartado se asignaron los componentes que se mencionaron anteriormente, Lactosuero, Agua, Hemicelulosa, Xilosa, Galactosa, Dióxido de Carbono y Etanol.

b) Asignar el modelo termodinámico

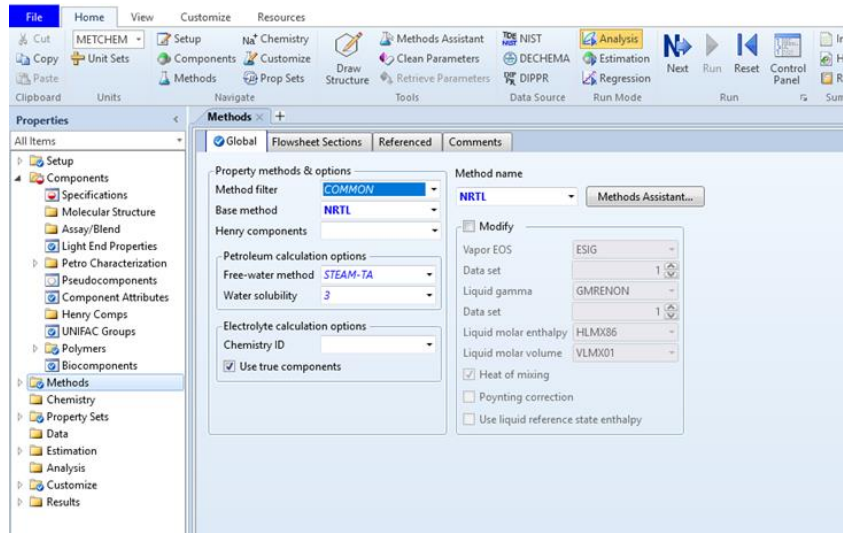


Figura 8. Asignación del modelo termodinámico

Referencia: Tomada de: Aspen Plus. Asignamos el modelo termodinámico a trabajar, dentro de la información global de Aspen Plus, en este caso “NRTL”. Establecer los equipos y las líneas de entrada y salida a partir de la experimentación.

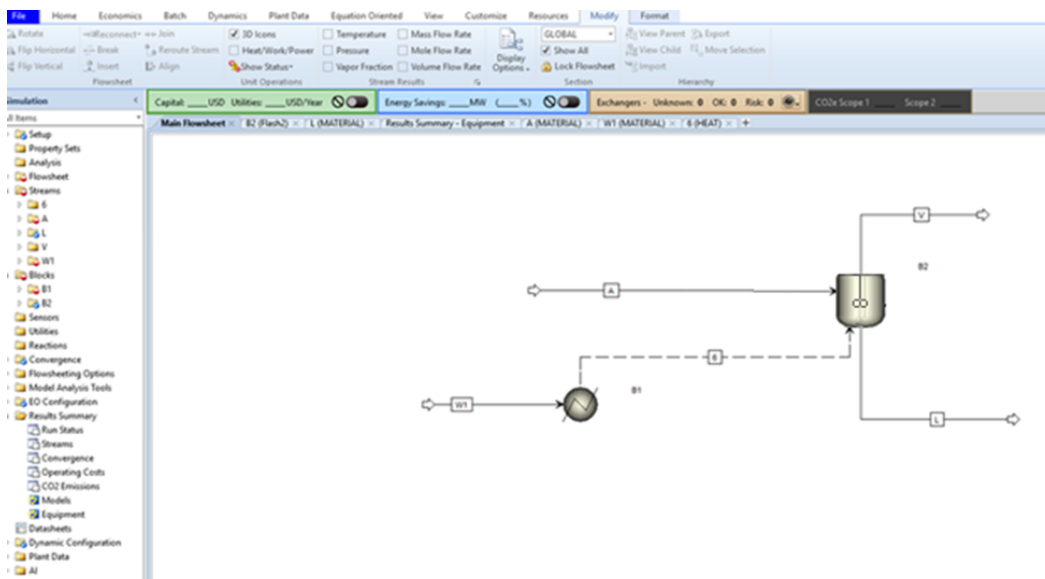


Figura 9. Diagrama de las entradas y salidas

Referencia: Tomada de: Aspen Plus

Con las herramientas gráficas que nos brinda el simulador, se asignaron las entradas y salidas simulando el fermentador utilizado.

- c) Se ingresan los valores de las variables del proceso tanto en las alimentaciones como en el reactor, indicando la fracción molar de cada componente. En el caso “NRTL” establecer los equipos y las líneas de entrada y salida a partir de la experimentación.

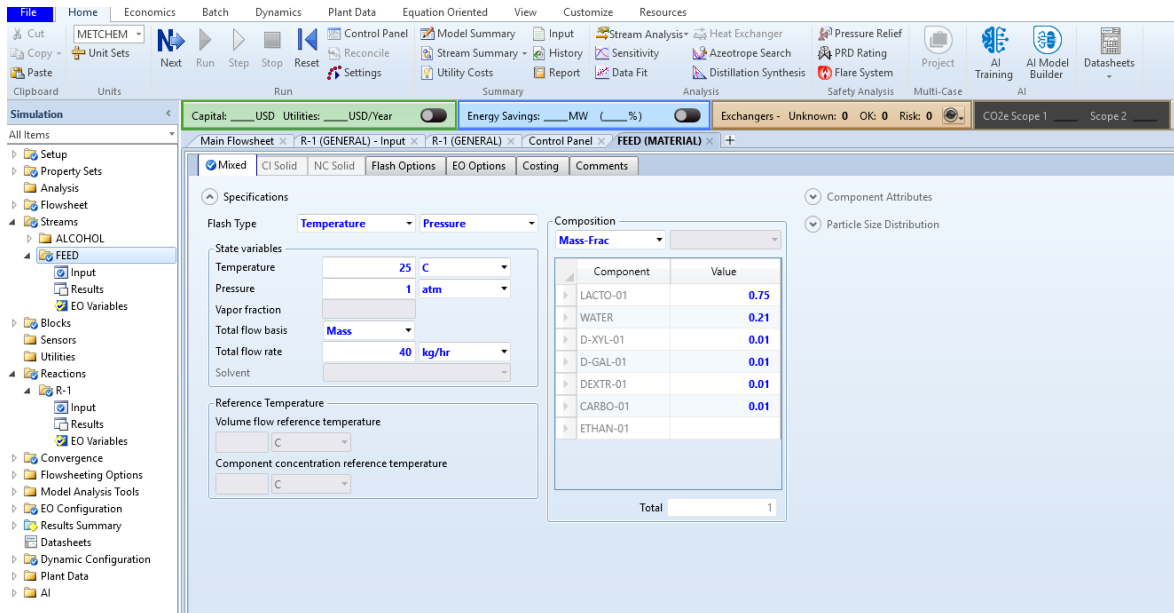


Figura 10. Asignación de los parámetros de entradas y salidas
Referencia: Tomada de Aspen Plus

Una vez que las entradas y salidas se han asignado gráficamente, se procede a definir los parámetros de operación ideales, como la temperatura y la presión.

d) Simulación de la destilación

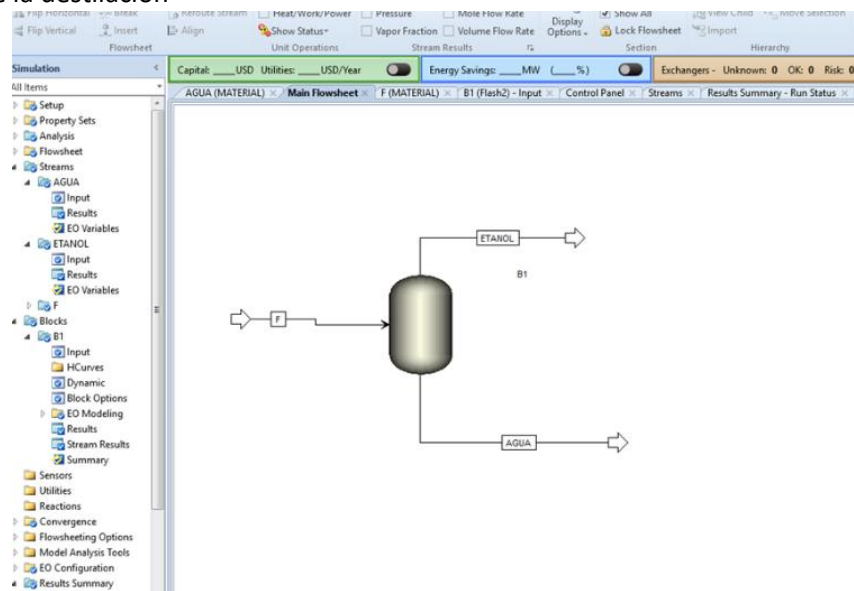


Figura 11. Corrida de la destilación final Referencia: Tomada de: Aspen Plus

Al desarrollar la simulación del proceso de obtención de bioetanol en la destilación, los rendimientos fueron viables en el proceso. El balance energético muestra las entalpías y entropías de la destilación en estado estacionario, los resultados se muestran en la Tabla 7, como fracción molar y fracción masa empezando por la alimentación que es la mezcla de sustrato y alcohol, considerando el



sustrato o agotado como 99% de agua o vinaza, de igual forma se presentan valores de las propiedades termodinámicas de la línea de vapor y de líquido en el proceso de destilación.

Tabla 2 Resultados obtenidos en el balance de materia y energía.
Referencia: Tomada de: Aspen Plus

Stream Name	Units	F	AGUA	ETANOL
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN
Cost Flow	\$/hr			
MIXED Substream				
Phase		Liquid Phase		Vapor Phase
Temperature	C	25		100
Pressure	bar	1.01325		1.01325
Molar Vapor Fraction		0		1
Molar Liquid Fraction		1		0
Molar Solid Fraction		0		0
Mass Vapor Fraction		0		1
Mass Liquid Fraction		1		0
Mass Solid Fraction		0		0
Molar Enthalpy	kcal/mol	-68.10254318		-56.96065106
Mass Enthalpy	kcal/kg	-3204.767041		-2680.45228
Molar Entropy	cal/mol-K	-43.82338479		-13.00505117
Mass Entropy	cal/gm-K	-2.062239274		-0.611991233
Molar Density	mol/cc	0.044180399		3.32024E-05
Mass Density	kg/cum	938.8506232		0.705562865
Enthalpy Flow	Gcal/hr	-0.128190682		-0.107218091
Average MW		21.25038803		21.25038803
Mole Flows	kmol/hr	1.882318569	0	1.882318569
WATER	kmol/hr	1.665253052	0	1.665253052
ETHAN-01	kmol/hr	0.217065517	0	0.217065517
Mole Fractions				
WATER		0.884681838	0	0.884681838
ETHAN-01		0.115318162	0	0.215318162
Mass Flows	kg/hr	40		40
WATER	kg/hr	30		30
ETHAN-01	kg/hr	20		20
Mass Fractions				
WATER		0.75	0	0.75
ETHAN-01		0.25	0	0.25
Volume Flow	cum/hr	0.042605287		56.69232608



ContinuaciónTabla 2: Resultados obtenidos en el balance de materia y energía.

Referencia: Tomada de: Aspen Plus

Vapor Phase				
Molar Enthalpy	kcal/mol			-56.96065106
Mass Enthalpy	kcal/kg			-2680.45228
Molar Entropy	cal/mol-K			-13.00505117
Mass Entropy	cal/gm-K			-0.611991233
Molar Density	mol/cc			3.32024E-05
Mass Density	kg/cum			0.705562865
Enthalpy Flow	Gcal/hr			-0.107218091
Average MW				21.25038803
Mole Flows	kmol/hr			1.882318569
WATER	kmol/hr			1.665253052
ETHAN-01	kmol/hr			0.217065517
Mole Fractions				
WATER				0.884681838
ETHAN-01				0.115318162
Mass Flows	kg/hr			40
WATER	kg/hr			30
ETHAN-01	kg/hr			10
Mass Fractions				
WATER				0.75
ETHAN-01				0.25
Volume Flow	cum/hr			56.69232608
Liquid Phase				
Molar Enthalpy	kcal/mol	-68.10254318		
Mass Enthalpy	kcal/kg	-3204.767041		
Molar Entropy	cal/mol-K	-43.82338479		
Mass Entropy	cal/gm-K	-2.062239274		
Molar Density	mol/cc	0.044180399		
Mass Density	kg/cum	938.8506232		
Enthalpy Flow	Gcal/hr	-0.128190682		
Average MW		21.25038803		
Mole Flows	kmol/hr	1.882318569		
WATER	kmol/hr	1.665253052		
ETHAN-01	kmol/hr	0.217065517		
Mole Fractions				
WATER		0.884681838		
ETHAN-01		0.115318162		
Mass Flows	kg/hr	40		
WATER	kg/hr	30		
ETHAN-01	kg/hr	10		
Mass Fractions				
WATER		0.75		
ETHAN-01		0.25		
Volume Flow	cum/hr	0.042605287		

La figura 12 muestra la información arrojada por el simulador en donde la fracción mol expresa 1.88232 kmol/hr de entrada y 1.88232 kmol/h de salida representando la conservación de masa, debido a que hubo fracciones de masa que se distribuyeron entre el vapor y el líquido o agotado. En lo que respecta a la entalpía

hubo una diferencia de liberación de energía en el proceso de -0.163605 Gcal/h con respecto a la entrada y salida.

	Total	Units	In	Out	Relative difference
Mole		kmol/hr	1.88232	1.88232	0
Mass		kg/hr	40	40	0
Enthalpy		Gcal/hr	-0.128191	-0.107218	-0.163605

Figura 12. Resultados de la destilación final Referencia: Tomada de: Aspen Plus

Conclusiones

La caracterización del sustrato se realizó determinando la concentración de azúcares mediante el método fenol-sulfúrico, obteniendo un rango de 27 mg/L a 3 mg/L. Para esto, se utilizó el modelo matemático obtenido de una regresión lineal $y = 157.96x + 18.108$.

La fermentación se inició con un pH de 4.9, el cual se mantuvo controlado durante 36 horas. Al finalizar, se obtuvo una concentración de alcohol del 20% (75 °GL) a partir de una muestra de 500 mL. Escalando el proceso a nivel industrial se procedió a hacer la simulación de la operación unitaria de destilación en Aspen plus, donde el balance de materia a partir de 40L de entrada fue de 1.88 kmol/hr y una entalpia promedio de -0.128191 . El volumen del flujo en fracción másica fue de 0.042605287 para el sustrato y 56.69232608 para el alcohol, el resto fue Vinaza.

En la fase vapor el volumen es 1.882318569 kmol/h siendo éste el vapor obtenido para la condensación del alcohol.

De acuerdo con los datos experimentales se evaluó y analizó todo el sistema desde el tratamiento de la materia prima, hasta la predicción de alcohol en donde el porcentaje obtenido es idóneo para escalar el proyecto a nivel industrial. En lo que respecta el balance energético en la fase vapor es de 1.882318569 kmol/h la masa entalpica es de 2680.45228 kcal/kg.

Bibliografía

1. Al-Malah, K. (2016). *Aspen Plus: Chemical engineering applications*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/301294748_Aspen_Plus_Chemical_Engineering_Applications
2. Zandona, E., Blažić, M., & Režek Jambrak, A. (2021). Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. *Food Technology and Biotechnology*, 59(2), 147–161. doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>
3. Tavares, T., & Malcata, F. X. (2016). Whey and Whey Powders: Fermentation of Whey. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 486–492). Elsevier.
4. Amado, I. R., Vázquez, J. A., Pastrana, L., & Teixeira, J. A. (2016). Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*. *Food Chemistry*, 198, 54–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.062>



Desarrollo de una aplicación web para la modelación matemática de procesos fermentativos

Daniel Carreón Roque¹ Osbaldo Hernández Guevara²

Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 16 de febrero 2026

Aceptado 25 de marzo de 2026

Publicado: 12 de abril de 2026

RESUMEN La modelación matemática de procesos fermentativos es una herramienta esencial en la biotecnología moderna, ya que permite predecir, analizar y optimizar el comportamiento de variables críticas como la biomasa y el sustrato sin incurrir en los costos y tiempos de la experimentación excesiva. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar una aplicación web de acceso libre para la simulación matemática de estos procesos, integrando conocimientos de ingeniería química y programación. Para el desarrollo del software se empleó una metodología basada en la implementación de los modelos cinéticos de Monod y Aborthey-Williamson, los cuales describen la velocidad específica de crecimiento y el consumo de sustrato. La construcción del sitio web se realizó utilizando el lenguaje HTML para el diseño de la interfaz, PHP para la lógica de programación matemática y MySQL para la gestión de bases de datos, alojando el sistema en un servidor compartido para garantizar su disponibilidad online. La validación de la herramienta se llevó a cabo utilizando datos experimentales de una fermentación alcohólica a escala piloto (40L) con una mezcla de melaza y lactosuero, considerando parámetros cinéticos reales como una velocidad máxima de crecimiento μ_{max} de 0.2 h⁻¹ y una constante de saturación (K_s) de 1.08 g/L. Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación es capaz de generar iteraciones precisas del comportamiento cinético, permitiendo visualizar gráficamente la relación entre el agotamiento del sustrato y el crecimiento de la biomasa en intervalos de tiempo ajustables. Se concluye que el software desarrollado constituye una alternativa eficaz, gratuita y de acceso libre para la docencia y la investigación, facilitando la comprensión de la dinámica de los bioprocesos

Introducción

El estudio y la modelación matemática de los procesos fermentativos han evolucionado de manera significativa en las últimas décadas, permitiendo comprender y optimizar los fenómenos bioquímicos que ocurren durante la fermentación. Esta disciplina integra conocimientos de ingeniería, biotecnología y matemáticas aplicadas para representar, simular y predecir el comportamiento de variables críticas como la biomasa, el sustrato, el producto y la temperatura (Nielsen, 2017). En los últimos años, el desarrollo de herramientas informáticas y plataformas digitales ha permitido implementar modelos matemáticos en entornos computacionales accesibles, impulsando la creación de aplicaciones web para la simulación, análisis y control de bioprocesos (Gernaey *et al.*, 2020). La presente investigación expone una revisión crítica del estado actual del conocimiento en torno a la modelación matemática aplicada a la fermentación, abordando los principales enfoques teóricos y metodológicos, así como las tendencias recientes en digitalización y simulación computacional. Asimismo, se identifican los vacíos de investigación que justifican el desarrollo de un sitio web especializado en la modelación matemática de procesos fermentativos; al igual, se establecen las condiciones, las variables fermentativas y posteriormente se lleva a cabo la programación de software en php, html y MySQL en un sitio web (Ulonska *et al.*, 2018). Lo anterior con base a parámetros que permitan la modelación matemática del proceso que proporcione resultados confiables de acuerdo con su análisis y evaluación final del mismo. A partir de los resultados obtenidos, la graficación será de vital importancia para observar el comportamiento de las dif. variables como sustratos, biomasa, velocidades de crecimiento, entre otros (Sin *et al.*, 2016)

Metodología

Analizar las ecuaciones de los procesos fermentativos.

De acuerdo con el análisis de los modelos que representan un proceso fermentativo, los modelos que más se apegan a éstos es el de Monod y aborthey-Williamson.

Esta es la descripción del modelo de Monod que se muestra en la ecuación.

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{S+K_s} \dots\dots\dots(ec. 1)$$

Donde μ_{max} es el crecimiento máximo que tendrá el microorganismo (h^{-1}) y K_s es la constante de saturación o constante de Monod (g/L) que es el valor de la concentración de sustrato al cual la tasa de crecimiento específico es igual a la mitad de su valor máximo μ_{max} . El valor de μ_{max} es dependiente de la temperatura, así que no existe un valor fijo, pero sus valores tienen un rango que va de 0.1 a $0.78 h^{-1}$. Algo similar ocurre para K_s , ya que es dependiente de μ_{max} . Este modelo se considera como no-estructurado, no-agregado y determinístico. A lo largo de la historia han surgido otros modelos que son una alternativa al modelo de Monod, su uso dependerá de las levaduras y sustratos utilizadas o el producto del proceso (Vásquez, 2025):

Para implementar el modelo de monod se requiere conocer parámetros de crecimiento, de consumo y rendimiento de sustrato.

- Parámetros de crecimiento del Microorganismo
 $\mu_{max}(q_x)$: Velocidad específica máxima de Crecimiento del Microorganismo (hr^{-1} , día $^{-1}$) en el sustrato que está creciendo.
- Parámetros de consumo y rendimiento del sustrato
 K_s : El consumo de sustrato realizado en actividades distintas al crecimiento o la formación de producto. Normalmente son actividades de mantenimiento celular y metabolismo basal ($g_{sustrato} / g_{celular} \cdot hr$). Es específico para cada sustrato.
 Y_{xs} : El rendimiento de sustrato a biomasa. ($g_{celular} / g_{sustrato}$). También es específico para cada sustrato.

- Aborthey-Williamson (sin producción de metabolitos acumulables)
 $q_s = m_s + \mu/y_{xs} \dots\dots\dots(ec. 2)$

- La definición de crecimiento celular específico
 $x_2 = x_1 * e^{\mu \Delta t} \dots\dots\dots(ec. 3)$ $\Delta t = t_2 - t_1 \dots(ec. 5)$

- La definición de consumo de sustrato específico
 $s_2 = s_1 - q_s \cdot x_1 \cdot \Delta t \dots\dots\dots(ec.4)$ $\Delta t = t_2 - t_1 \dots(ec. 6)$

Todos las variables anteriores están en función de la temperatura, salinidad, pH, acumulación de metabolitos entre otros.

Los datos experimentales se usarán para calcular la tasa de crecimiento μ durante el proceso y para verificar si existió un efecto de inhibición por etanol y biomasa. Una vez calculada la tasa de crecimiento, se utilizaron estos datos para calcular los parámetros para un modelo de crecimiento tipo Monod.

Programar el sitio web para la modelación matemática

Se establecen los programas php, mysql y html para la programación de la modelación matemática en el sitio web, el cual contará con las características y condiciones necesarias para el fácil acceso a través de la red de internet.

Para dar inicio a la programación, se procede al diseño del mismo iniciando con un algoritmo que permita establecer las variables así como el diseño y los resultados que se desean obtener.

La programación se establecerá en 4 bloques (Figura 1)

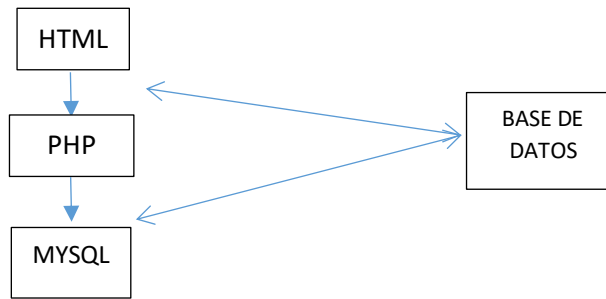


Figura 1 Procedimiento en bloques para ejecutar el programa con html, php y mysql

El Algoritmo se expresa a continuación y el diagrama de flujo del desarrollo de software se muestra en la Figura 8.

1. Inicio
2. Introducir los valores del biorreactor, x_1, x_2, x_3
3. Introducir los valores de crecimiento, y_1, y_2, y_3
4. Introducir los valores de sustrato, z_1, z_2
5. Indicar el numero de iteraciones, it
6. $X=it?$
Si ir a 13
No ir a 7
7. Almacenar valores en base de datos "param"
8. $iter=it$, $x_0=x_1$, $s_0=x_2$, $dt=x_3$, $m_{max}=y_1$, $k_s=y_2$, $m_s=z_1$, $y_{xs}=z_2$,
9. $res(i) = res(i) + dt(i)$; $miu(i) = (miu_2(i) * s_0(i)) / (s_0(i) + k_{sp}(i))$; $qs(i) = (m_{sp}(i) + miu(i)) / y_{xsp}(i)$; $x_0(i) = x_0(i) * (\exp(miu_2(i) * dt(i))$; $s_0(i) = s_0 - ((qs(i) * x_0(i) * dt(i)))$.
10. $X=X+1$
11. $i=i+1$
12. Ir a 6
13. Fin

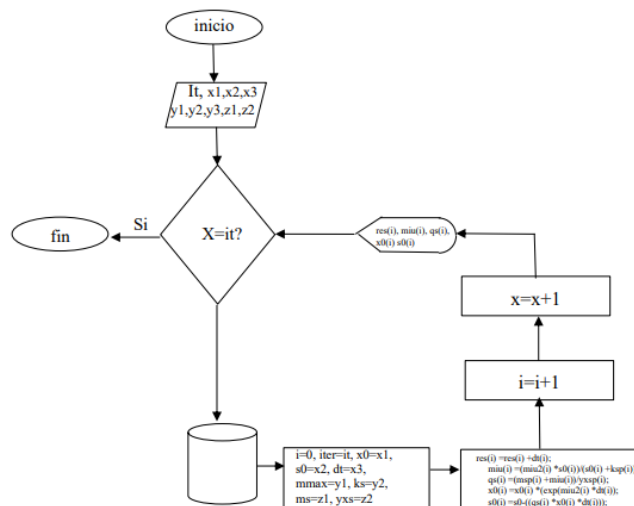


Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de modelación

Programación en html

Se llevará a cabo la programación del encabezado de html para su correcta visualización y enlace de la resolución del programa en php al igual que el diseño .css estándar y el script de biblioteca jquery.min para que la página web cargue más rápido, mejore el rendimiento y reduzca el uso del ancho de banda, con esto mediante el direccionamiento a la base de datos programada en mysql.

Programación en php

Para programar en php se inicia con la conexión de la base de datos que tendrá de nombre "inepi_fermenta" en donde una vez conectada a la base de datos se declaran las variables a emplear y cuando se escriban ciertos valores iniciales, estos datos se insertan en la tabla asignada dentro de la base de datos.

Programación en Mysql

Para que la programación en php concuerde adecuadamente con html y mysql, será necesario crear en mysql una tabla que guarde los datos para poder emplearlos en los cálculos matemáticos.

Adquisición de datos para modelación matemática de la fermentación.

De acuerdo con el estudio de fermentación realizado por Vásquez (2025), realizó un balance de materia y energía de un proceso de fermentación con el estudio en un banco de bioetanol a escala piloto de 40L con la mezcla de melaza y lactosuero identificando variables del sustrato como es azúcares fermentables, biomasa y producción de bioetanol.

Los resultados que obtiene se ajustarán al modelo de Monod y de Aborthey-Williamson. En 1940, Jacques Monod describió una ecuación que relaciona la tasa de crecimiento específica μ con la concentración de sustrato limitante (S), la cual se conoce en la actualidad como ecuación de Monod. En ella se describe las observaciones de experimentos que él realizó y donde percibió, que, a bajas concentraciones de sustrato μ variaba, mientras que a mayores concentraciones μ era independiente de la concentración de sustrato, lo cual expresó matemáticamente, por medio de la siguiente ecuación:

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{S+K_s} \dots\dots\dots(\text{ec. 7})$$

Con k_s una constante de saturación media y S es la concentración de sustrato limitante para la cual la velocidad específica de crecimiento es la mitad de μ_{max} . Además, k_s es un parámetro que brinda información acerca de la afinidad de un microorganismo por un sustrato en particular, bajo determinadas condiciones de cultivo. El microorganismo será más afín a un sustrato cuanto menor sea el valor de k_s de ese sustrato en las condiciones de crecimiento. μ_{max} es la máxima velocidad a la que puede crecer un microorganismo en determinadas condiciones de cultivo. Por lo tanto, es importante conocer como varía μ_{max} con respecto de las condiciones de cultivo.

Una fermentación se establece entre 30 y 38 horas hasta que se degrade el sustrato o azúcares fermentables debido a la producción de enzima producida por la levadura.

Por lo tanto, en el sistema se puede especificar la modelación por hora o en su defecto visualizar el comportamiento cada 25 minutos o $\frac{1}{4}$ de hora durante las 30 o 38 horas que dura la fermentación. La levadura empleada es la *Saccaromyces cereviceae* y produce una enzima de nombre carboxylasa la cual degrada los azúcares y en su reacción produce alcohol.

Evaluar el sitio web, analizando los resultados obtenidos.

Para llevar a cabo la evaluación del sitio es importante identificar las variables de un proceso experimental y en éste caso se consideró el trabajo de Karla Irene Vásquez, (2025), realizando una fermentación y empleando una mezcla de lactosuero melaza en donde se midieron las variables de concentración, biomasa, sustrato, pH, alcohol, temperatura y agitación. En la tabla 1, se muestran los azúcares fermentables identificados en mg/L

Tabla 3 Azúcares fermentables mg/L

Muestra	Absorbancia	Concentración mg/L
1	0.570	20
2	0.480	19.8
3	0.350	19.5
4	0.280	19
5	0.27	17.6
6	0.21	14
7	0.17	11
8	0.18	7
9	0.15	1

En la tabla 2 se observa los parámetros iniciales del estudio de Vásquez (2025)

Tabla 4. Parámetros cinéticos a partir de datos experimentales

Parámetro	F1
μ_{\max} (h^{-1})	0.2
K_s (g/L)	1.08
m_s	0.02
$Y_{x/s}$	0.5

Para evaluar correctamente el sitio web, la representación gráfica generará los comportamientos correspondientes de cada parámetro modelado en la ec. de monod.

Siendo que cada una de las variables es característica del modelo de fermentación.

Resultados

Presentación del diseño y programación del entorno

El sistema desarrollado permite la modelación de la fermentación mediante Monod y Aborthey-Williamson.

De acuerdo al diseño del entorno aunado a la programación desarrollada en html, php y mysql, en <https://www.inepi.org/fermenta/> se establece un diseño de página web mostrando inicialmente etiquetas de los modelos, así como la definición de crecimiento celular específico y el consumo de sustratos .

Programación en html

En la figura 3 se puede observar la programación del body del html en el cual se declara el método post para que muestre los resultados en la misma pagina web al igual que los textos del sitio web antes de introducir datos y ejecutar el programa web.

Se establece un tamaño de letra así como los superíndices y subíndices de los textos para su correcta interpretación. De igual forma se estableció en cada párrafo la estructura de la tabla con la que se presenta la información.

```
1 <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http://www.w3
.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
2 <html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
3 <head><meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
4 <link href="css/style.css" rel="stylesheet" type="text/css" /><meta name
="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
5 <title>FERMENTACIÓN</title>
6 <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Lobster" rel
="stylesheet" type="text/css" />
7 <style type="text/css">body, html{ margin:0; padding:0;}
8 .header{ border-top:1px solid white;background:white; color:#333; height:100px;
width:100%; font-family: 'Lobster', cursive; text-align:center}
9 .menu{ height:30px; width:100%; background:#333; color:white; text-align:right}
10 .wrapper{ height:2000px; width:100%; padding-top:20px}
11
12 .fixed{position:fixed; top:0}
13 </style>
14 <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.11.1/jquery.min
.js"></script><script>
15 posicionarMenu();
16
17 $(window).scroll(function() {
18   posicionarMenu();
19 });
20
21 function posicionarMenu() {
22   var altura_del_header = $('.header').outerHeight(true);
23   var altura_del_menu = $('.menu').outerHeight(true);
24
25   if ($(window).scrollTop() >= altura_del_header){
26     $('.menu').addClass('fixed');
27     $('.wrapper').css('margin-top', (altura_del_menu) + 'px');
28   } else {
29     $('.menu').removeClass('fixed');
30     $('.wrapper').css('margin-top', '0');
31   }
32 }
```

Figura 3 Encabezado de la programación html

En la figura 4 se programa las variables que se establecen en 3 componentes principales reactor, crecimiento y sustrato

```
48 <div id="login-box">
49
50 <form action="<?php $_SERVER['PHP_SELF'] ?>" method="POST" >
51 <br /><font><label><center>SIMULADOR DEL MODELO DE MONOD CON ABORTHEY
-WILLIAMSON</center></label></font>
52 <br />
53 <table border="1">
54 <tbody>
55 <tr><tr>
56
57 <br />PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DEL MICROORGANISMO </tr>
58 <tr>
59 <td> <font size=5><label><center>Monod</center></label>
60 <br><center><math>\mu = \mu_{\max} \frac{S}{S + K}</math></center> </font><br>
61 <tr>
62 <td><br /><font size=5><label><center>Aborthey-Williamson (sin producción
de metabolitos acumulables)</center></label></font>
63
64 <br /><font size=5><label><center><math>q = m + \mu \cdot x</math></center></font>
65
66 <br /><font size=5><label><center> La definición de crecimiento celular
especifico</center></label></font>
67 <br /><font size=5><label><center><math>x \frac{dx}{dt} = \mu \cdot x</math></center></font>
68
69 <br /><font size=5><label><center>La definición de consumo se sustrato
especifico</center></label></font>
70 <br /><font size=5><label><center><math>s \frac{ds}{dt} = -q \cdot x</math></center>
71 </font><br></td></tr>
72 </table>
73
```

Figura 4 Programación de los títulos e información introductoria como referencia para antes de resolver o ejecutar el programa

En la figura 5 se muestra la página web con la información básica inicial o etiquetas, así como las cajas de entrada de datos.

PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DEL MICROORGANISMO

Monod

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S + K_s}$$

Aborthey-Williamson (sin producción de metabolitos acumulables)

$$q_s = m_s + \mu \cdot Y_{xs}$$

La definición de crecimiento celular específico

$$x_2 = x_1 \cdot e^{(\mu \cdot \Delta t)} \quad \Delta t = t_2 - t_1$$

La definición de consumo se sustrato específico

$$s_2 = s_1 - q_s \cdot X_1 \cdot \Delta t \quad \Delta t = t_2 - t_1$$

ITERACIONES	REACTOR	
X0		g de celula/L
S0		g de sustrato/L
Δt		hr
CRECIMIENTO		
μmax		hr-1
Ks		g sustrato/L
SUSTRATO		
ms		g sustrato/g células-h
Yks		g celula/g sustrato
CALCULAR	Calcular	

Figura 12 Diseño del sitio web para la captura de información

En el reactor se especifica cuanta biomasa hay inicialmente (Xo) en unidades de g de celula/L al igual el sustrato (So) en unidades g de sustrato/L , el incremento de tiempo se puede establecer de acuerdo a las iteraciones requeridas (Δt) en horas.

En el crecimiento la μ_{\max} o velocidad específica de crecimiento en hr^{-1} , la Ks es la concentración del sustrato en g de sustrato/L.

En el sustrato la m_s es el consumo de sustrato en $g_{\text{sustrato}}/g_{\text{celula}} \cdot h$ y por ultimo el Y_{xs} es el rendimiento de sustrato a biomasa en $g_{\text{celula}}/g_{\text{sustrato}}$

Programación en PHP

Para programar en php se inicia con la conexión de la base de datos que tiene de nombre "inepi_fermenta" en donde una vez conectada a la base de datos se declaran las variables a emplear y cuando se escriban ciertos valores iniciales, estos datos se insertan en la tabla asignada dentro de la base de datos (Figura 6).

```

127
128 <?php
129 if(!empty($_POST))
130
131 {
132
133
134 $link = mysqli_connect("localhost","inepiorg_admin","Ohernandez-01"
135 , "inepiorg_fermenta");
136 if (!$link) {
137     echo 'Error al conectar a la base de datos';
138 }
139 else {
140     echo 'Conectado a la base de datos';
141 }
142 $tabla="param";
143 $iter=$_POST["it"];
144 $x0=$_POST["x1"];
145 $s0=$_POST["x2"];
146 $dt=$_POST["x3"];
147 $mmax=$_POST["y1"];
148 $ks=$_POST["y2"];
149 $ms=$_POST["z1"];
150 $yxs=$_POST["z2"];
151
152 $sql="INSERT INTO param(iteraciones, x0, s0, dt, mmax, ks, ms, yxs) VALUES
153 ($iter, '$x0', '$s0', '$dt', '$mmax', '$ks', '$ms', '$yxs')";
154 $resultado=mysqli_query($link, $sql);
155 $resultado2=mysqli_query($link, "SELECT * FROM param ORDER BY id DESC LIMIT 1")
156 or die (mysql_error());

```

Figura 6 Programación en php de la conexión a la base de datos.

Se puede cambiar la información de registro del número de horas del experimento y así el modelo se ajustará a ello.

Programación en Mysql

Para que la programación en php concuerde adecuadamente con html y mysql, será necesario crear en mysql una tabla que guarde los datos para poder emplearlos en los cálculos matemáticos (Figura 7).

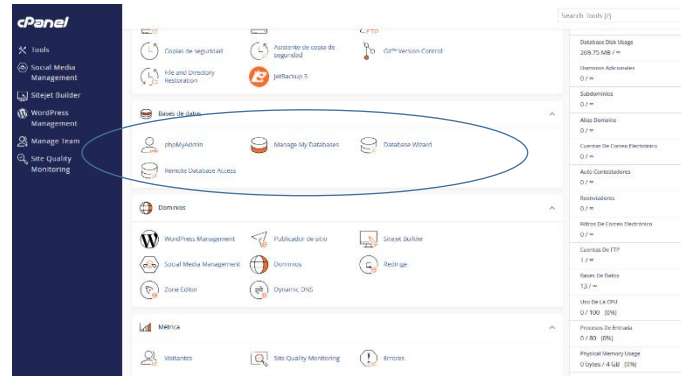


Figura 7 Área para ingresar phpmyadmin en el cpanel del hosting compartido.

En la figura 8 se muestra la tabla creada con cada una de las variables que permiten ingresar datos para que posteriormente puedan ser manipulados en los cálculos matemáticos y así obtener los modelos.

A screenshot of the phpMyAdmin interface. The main window shows a table named 'param' with 20 rows of data. The table has columns: id, iteraciones, tiempo, x0, x0_01, xmax, ks, ms, yxs. The data is as follows:

id	iteraciones	tiempo	x0	x0_01	xmax	ks	ms	yx0	
1	5	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
2	5	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
3	9	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
4	10	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
5	37	1	0.05	0.5	1	0.2	0.8	0.02	0.5
6	10	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
7	36	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
8	37	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
9	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
10	37	1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5
11	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
12	36	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
13	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
14	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
15	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
16	37	1	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5
17	18	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5	
18	10	0.05	0.2	0.1	0.2	0.8	0.02	0.5	
19	37	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5	
20	34	0.05	0.2	1	0.2	0.8	0.02	0.5	

Figura 8 Tabla de nombre "param" creada en la base de datos fermenta.

Ingreso de los valores

Considerando las variables obtenidas por Vásquez (2025), se muestran de los valores requeridas para la modelación en donde la fermentación se puede enunciar en 36 iteraciones de una hora cada una que es lo que regularmente tarda la fermentación del sustrato de Lactosuero-Melaza.

En el reactor o fermentador el valor inicial de la biomasa (X_0) es 0.05 g de célula/L y de sustrato de 20 g de sustrato/L en intervalos de 1 hora.

Respecto al crecimiento la μ_{max} se establece en la primera interacción como 0.2 debido a que no puede ser 0 completamente en la K_s respecto a la levadura fue de 1.08 gramos de sustrato / L.

En lo que respecta al consumo de sustrato en g sustrato/g células-h (m_s) tuvo un valor de 0.02 y el rendimiento de sustrato a biomasa (Y_{xs}) en $g_{célula} / g_{sustrato}$ (Figura 9)

ITERACIONES	36	
	REACTOR	
X0	0.05	g de celula/L
S0	20	g de sustrato/L
Δt	1	hr
	CRECIMIENTO	
μmax	0.2	hr-1
Ks	1.08	g sustrato/L
	SUSTRATO	
ms	0.02	g sustrato/g células-h
yks	0.5	g celula/g sustrato
CALCULAR	Calcular	

Figura 9 Interfaz para el ingreso de valores

Ejecución de la aplicación

De acuerdo con los valores ingresados, se ejecutan los calculo y la prog. ofrece una serie de iteraciones que permiten observar el cálculo de cada variable por el tiempo.

Conforme a la resolución en la Figura 10, el tiempo empieza en 0 debido a que son los valores que se captura

← → ↻ <https://www.inepi.org/fermenta/>

iteraciones	Tiempo	Xo	So (m3/Kg)	μmax	ks	ms(kJ/Kg)	yks
36	1	0.05	20	0.2	1.08	0.02	0.5

Tiempo	biomasa (x)	sustrato (s)	crecimiento (μ)	consumo de sustrato
0	0.05	20	0.18975332068311	0.41950664136622
1	0.061070137908008	19.974380671558	0.18975332068311	0.41950664136622
2	0.074591234882064	19.943091013195	0.18974085234947	0.41948170469894
3	0.091105940019525	19.904876520392	0.18972558317593	0.41945116635185
4	0.11127704642462	19.858205397516	0.18970687295729	0.41941374591458
5	0.13591409142295	19.801207395949	0.18968392964444	0.41936785928887
6	0.16600584613683	19.731599228766	0.18965577057379	0.41931154114758
7	0.20275999834223	19.64659365162	0.18962117242286	0.41924234484571
8	0.24765162121976	19.542788688553	0.18957860593831	0.41915721187663
9	0.30248237322065	19.416032754483	0.18952614977237	0.41905229954474
10	0.36945280494653	19.261260569325	0.1894613751555	0.41892275031101
11	0.45125067497171	19.072293763534	0.18938118907312	0.41876237814625
12	0.55115881903208	18.841598945634	0.18928161714321	0.41856323428643
13	0.67318690175008	18.559994771115	0.18915749681592	0.41831499363184
14	0.82223233855485	18.216298309199	0.18900203373182	0.41800406746364
15	1.0042768461594	17.796899959292	0.18880614320224	0.41761228640448
16	1.2266265098555	17.285255781979	0.18855744319958	0.41711488639916
17	1.4982050023699	16.661287374936	0.18823866094956	0.41647732189911
18	1.8299117221839	15.90068453176	0.18782500979579	0.41565001959157
19	2.235059224665	14.974119878185	0.18727966475109	0.41455932950218
20	2.7299075016572	13.846419605398	0.18654550971097	0.41309101942194
21	3.3343165520463	12.475822014702	0.18552901461233	0.41105802922465
22	4.0725434332484	10.813687638725	0.18406588698452	0.40813177396904
23	4.9742157820967	8.8057051053076	0.18183910604002	0.40367821208004
24	6.0755208759367	6.3979729168669	0.1781502687265	0.39630053745301
25	7.4206579551288	3.5615723503967	0.17111516685052	0.38223033370105
26	9.0636120937576	0.41715071029104	0.15346404543677	0.34692809087354
27	11.070320810209	-1.2594703572898	0.055725947618185	0.15145189523637
28	13.521320371308	-39.755788255619	1.4035413717442	2.8470827434885
29	16.514977995482	-47.206847224843	0.20558488940348	0.45116977880696
30	20.171439674637	-56.271195868038	0.20468273929382	0.44936547858765
31	24.637452054663	-67.304520372193	0.20391366768925	0.44782733537851
32	30.092251893604	-80.741410895357	0.20326163177606	0.44652326355211
33	36.754759462099	-97.112824351537	0.20271147595269	0.44542295190538
34	44.892364582521	-117.06741135882	0.20224923094222	0.44449846188443
35	54.831657921423	-141.39756366416	0.20186227106433	0.44372454212866

Figura 10 , Se ejecutan los calculo y la prog. ofrece una serie de iteraciones que permiten observar el cálculo de cada variable por el tiempo

Análisis y graficación de los parámetros calculados

En el estudio de Vásquez (2025) presentó los valores de la tabla 3, en cinéticas experimentales de cada 4 horas de la Biomasa y concentración de azúcares fermentables, determinados por cámara de Neubauer y técnica de fenol-sulfúrico respectivamente, en la figura 17 se muestra el comportamiento gráfico así como la línea de tendencia del forma polinómica y el factor de correlación.

En la Figura 11 se observan los datos experimentales por Vasquez (2025) del comportamiento de la biomasa con respecto a los azúcares fermentables

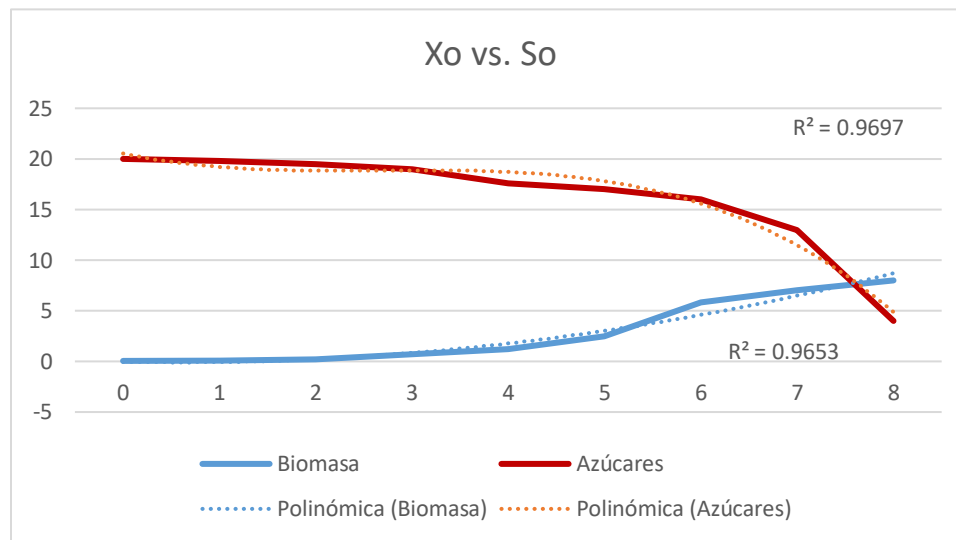


Figura 11 Se observan los datos experimentales por Vasquez (2025)

En la figura 12 los datos ajustados al modelo de Monod siendo éste un comportamiento polinomial de tercer grado.

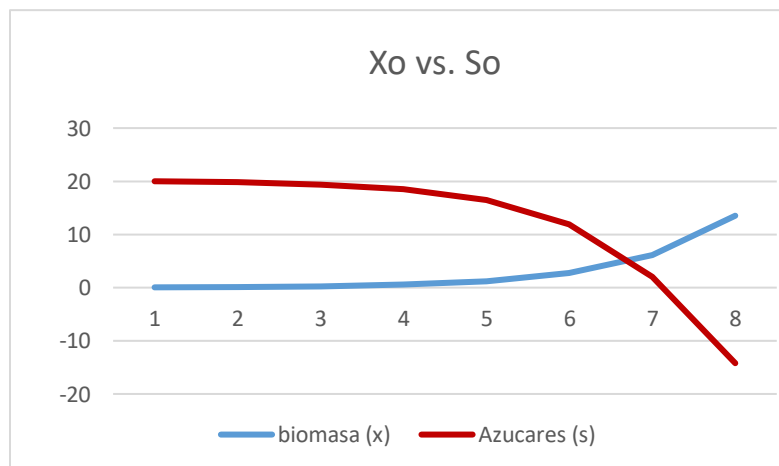


Figura 13 Graficación de los valores ajustados al modelo de monod de la biomasa vs. sustrato

Una de las ventajas del sitio web es que se pueden establecer intervalos de media hora o menos y el número de iteraciones, un ejemplo en la siguiente entrada de datos en donde se establecen 5 iteraciones de una hora cada una. (Figura 19)

ITERACIONES	5	
	REACTOR	
X0	0.05	g de celula/L
S0	20	g de sustrato/L
Δt	1	hr
	CRECIMIENTO	
μ_{max}	0.2	hr-1
Ks	1.08	g sustrato/L
	SUSTRATO	
ms	0.02	g sustrato/g células-h
yks	0.5	g celula/g sustrato
CALCULAR	Calcular	

Figura 142 Entrada de datos para 5 iteraciones de 1 hr

Para el cálculo de la modelación con un intervalo pequeño de iteraciones nos ofrece el comportamiento cinético del proceso de fermentación. (Figura 13)

iteraciones	Tiempo	Xo	So (m ³ /Kg)	μ_{max}	ks	ms(kJ/Kg)	yks
5	1	0.05	20	0.2	1.08	0.02	0.5

Tiempo	biomasa (x)	sustrato (s)	crecimiento (μ)	consumo de sustrato
0	0.05	20	0.18975332068311	0.41950664136622
1	0.061070137908008	19.974380671558	0.18975332068311	0.41950664136622
2	0.074591234882064	19.943091013195	0.18974085234947	0.41948170469894
3	0.091105940019525	19.904876520392	0.18972558317593	0.41945116635185
4	0.11127704642462	19.858205397516	0.18970687295729	0.41941374591458

Figura 15 Resultados de las 5 iteraciones con 1 hr.

Conclusiones

Con base en el desarrollo e implementación de la aplicación web para la modelación de procesos fermentativos, se han alcanzado las siguientes conclusiones. Se analizaron diferentes modelos fermentativos con base a las propiedades fisicoquímicas que éstas presentan eligiendo el de Monod y Aborthey-Williamson. Se logró desarrollar exitosamente un sitio web funcional mediante la integración de lenguajes de programación HTML, PHP y MySQL. Esta estructura permitió crear una interfaz amigable que facilita la captura de variables de entrada (X_0 , S_0 , μ_{max} , Ks) y ejecuta cálculos complejos en el hosting, devolviendo resultados inmediatos al usuario sin necesidad de instalar software especializado. Eficacia de los modelos matemáticos: La implementación de las ecuaciones de Monod y Aborthey-Williamson demostró ser adecuada para describir la cinética de la fermentación. El software permitió simular correctamente la relación inversa entre el crecimiento de la biomasa y el consumo de sustrato, reflejando fielmente cómo la velocidad de crecimiento



(μ) depende de la concentración de sustrato disponible hasta llegar a la fase estacionaria. Validación con datos experimentales: La herramienta fue evaluada utilizando parámetros cinéticos reales obtenidos de una fermentación de mezcla lactosuero-melaza (Vásquez, 2025). El simulador reprodujo el comportamiento esperado durante las 36-38 horas del proceso, mostrando una alta correspondencia entre la simulación digital y los fenómenos bioquímicos reales, lo que valida la utilidad del software para predecir escenarios de producción. Capacidad de ajuste y predicción: El sistema permite al usuario manipular el número de iteraciones y los intervalos de tiempo (Δt), lo que ofrece flexibilidad para analizar tanto fermentaciones rápidas como procesos prolongados. Esto es crucial para identificar momentos clave, como el agotamiento del sustrato o el inicio de la fase de muerte celular, facilitando la toma de decisiones en el diseño de bioprocesos. Accesibilidad y aporte educativo: A diferencia de otros simuladores comerciales que requieren licencias costosas, esta aplicación web ofrece una solución de libre acceso. Esto representa un aporte significativo para la enseñanza de la ingeniería química y la biotecnología, permitiendo a estudiantes e investigadores realizar prácticas de simulación y análisis de sensibilidad de parámetros cinéticos de manera gratuita y desde cualquier dispositivo con acceso a internet. El error encontrado de acuerdo al factor de correlación de los datos experimentales es apenas del 4% en comparación con el modelo de monod el cual ajusta los valores a un modelo de 3er. Grado de una ecuación polinómica.

Bibliografía

1. Gernaey, K. V., Baganz, F., Biener, R., & Hass, V. C. (2020). Model-Based Control and Optimization of Bioprocesses. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47856-4>
2. Ulonska, S., Quaglia, A., Cassells, B., Gernaey, K. V., & Krühne, U. (2018). Digitalization in the bio-based industry: A review of the current state and future perspectives of software tools for bioprocess development. *Biotechnology Advances*, 36(8), 2132-2145
3. Sin, G., & Gernaey, K. V. (2016). Assessing Robustness of Bio-based Processes: A Modeling and Simulation Approach. IWA Publishing.
4. Vasquez, K. (2025). Balance de masa y energía por medio del simulador Aspen Plus de la producción de bioetanol a partir de la mezcla de lactosuero con trazas de melaza a escala piloto [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana]



Creación y programación de un recorrido virtual de una planta de tratamiento de aguas residuales

Francisco Hernández Mendoza¹ Osbaldo Hernández Guevara²

Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 16 de febrero 2026

Aceptado 25 de marzo de 2026

Publicado: 12 de abril de 2026

RESUMEN-Cada vez son más los centros educativos que apuestan por incorporar nuevas metodologías de aprendizaje inmersivas y experienciales, mediante las cuales los alumnos pueden vivir en primera persona y de forma más interactiva aquello que están aprendiendo. La Realidad Virtual, Aumentada permite recrear situaciones de riesgo reales en entornos virtuales y completamente seguros para el alumno. La Realidad Virtual puede aplicarse en distintos ámbitos dentro de la industria química, ya que resulta una herramienta muy útil para dar solución a distintas problemáticas. Esta tecnología ofrece la capacidad de permitir a los estudiantes visualizar conceptos complejos o abstractos, observar eventos a escala atómica o planetaria, sin importar la distancia, el tiempo o los factores de seguridad que de otro modo harían que esto fuera imposible en la realidad. La realidad virtual ofrece muchas ventajas a la educación, incluida la entrega de información a través de múltiples canales, el direccionamiento de los diferentes estilos de aprendizaje y, además, el aprendizaje basado en la experiencia.

Se ocuparon programas fundamentales para lograr el desarrollo del trabajo, entre ellos se encuentra SolidWorks, este es un Software tipo CAD basado en Windows, permite la creación, diseño, simulación, fabricación y la gestión de los datos asociados al proceso de diseño. En SolidWorks fueron desarrollados todas las partes de la planta, también se empleó el programa Unity, es la plataforma líder en Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR). En Unity se realizó el recorrido virtual ensamblando todas las piezas que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción

El uso de las nuevas tecnologías juega un papel indiscutible en todos los sectores de actividad y el ámbito del agua no es ajeno a ello. En los últimos años se han presentado mejoras tecnológicas que redundan en una gestión más eficiente y optimizada de la gestión del ciclo del agua (Noblecilla & Espinoza, 2025). El proceso de digitalización del sector del agua se ha acelerado en los últimos años con la adopción de tecnologías disruptivas que están cambiando los modelos de negocio predominantes durante décadas. Hoy en día, las soluciones inteligentes -sean en forma de software, hardware o analítica-, son el principal campo de innovación en la industria, y concentran un porcentaje creciente de las inversiones para mejorar los servicios. La aplicación de la realidad virtual en la industria 4.0 tiene una orientación distinta debido al nivel de inmersión que proporciona al usuario (Machala, 2022). Mediante la Realidad Virtual, se pueden construir simulaciones exactas de productos, procesos o plantas productivas para ver en primera persona y de manera inmersiva su funcionamiento. La realidad virtual se utiliza para la fase de diseño de productos o procesos y validación de prototipos, ya que los ingenieros pueden comprobar los avances realizados de manera más visual e interactiva mediante una simulación virtual. De esta manera, se pueden reducir errores en esta fase y aumentar la productividad. El presente desarrollo tecnológico ofrece una perspectiva de control diferente a la que estamos acostumbrados debido a que con la digitalización de los recorridos virtuales en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se puede gestionar



información relevante para el análisis de todas las etapas de su operación aportando al estudiante un aprendizaje significativo y ahorrando costos originados por concepto de visitas a las plantas de tratamiento y los riesgos pertinentes de salud que puedan generarse. Los recursos informáticos empleados para el desarrollo del presente proyecto son de fácil acceso debido a que algunos sistemas digitales son open source. La metodología que se emplea para el desarrollo del sistema digital es acorde con los recursos que contamos desde el diseño digital en SolidWorks® hasta la programación de la aplicación para las gafas virtuales, dando lugar a un seguimiento de la investigación para una fase posterior, como lo es la validación de información, pero ahora con la realidad aumentada profundizando en una investigación micro, posiblemente con la interacción de la mecánica de fluidos de sistema.

Metodología

Diseño de partes de la PTAR en solid Works

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) ha revolucionado la forma en que las industrias de todo el mundo diseñan productos y estructuras. Antes de la llegada de CAD, los diseñadores y los ingenieros solían depender en gran medida de bocetos en papel y dibujos técnicos manuales para representar sus ideas y conceptos. Sin embargo, con la introducción del software CAD, se abrió un nuevo mundo de posibilidades para la creación de diseños precisos, eficientes y altamente personalizables (Gutierrez de Ravé *et al.*, 2025).

Entre las numerosas soluciones de software CAD disponibles en el mercado, SolidWorks se destaca como una de las opciones más populares y poderosas. SolidWorks es un software de modelado 3D que se ha convertido en una herramienta esencial en una variedad de industrias, incluyendo la fabricación, la ingeniería, la arquitectura y el diseño de productos. A continuación, exploraremos por qué SolidWorks se ha ganado su lugar en la cima del mundo del diseño asistido por computadora. El origen de SolidWorks se encuentra en la visión de Jon Hirschtick, un ingeniero que quería crear una herramienta de diseño 3D accesible y eficiente. La idea era combinar la potencia del modelado 3D con una interfaz amigable para los usuarios, y el resultado fue SolidWorks. Esta visión de facilidad de uso y potencia ha sido un pilar fundamental en el desarrollo del software.

SolidWorks es un Software tipo CAD basado en Windows, el enfoque de este programa es el realizar diseños mecánicos en 3D a los que se les conoce como “solidos”, ensamblajes de mecanismos en 3D y elaboración de planos en 2D. Esta herramienta cuenta con un gran valor en el área de diseño gracias a que posee una amplia cantidad de soluciones, además este software permite creación, diseño, simulación, fabricación y la gestión de los datos asociados al proceso de diseño.

En SolidWorks se desarrolló todas las partes de la planta como fue el reactor anaerobio de flujo ascendente (Planchard, 2022).

En la figura 1 se muestra el diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA en SolidWorks. En esta primera etapa se lleva a cabo las siguientes acciones:

1. Cribado,
2. Sedimentación,
3. Flotación,
4. Separación de aceites
5. Homogenización,
6. Neutralización.

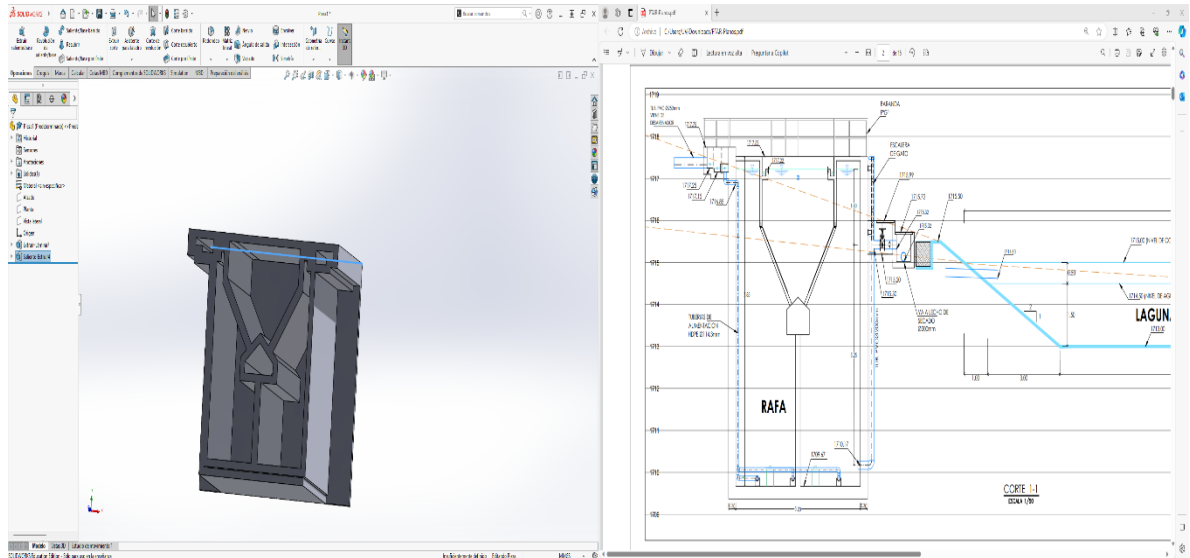


Figura 1. diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA en Solid Works®

En la figura 2 se muestra el diseño de la laguna secundaria en donde se llevan a cabo los siguientes procesos:

1. Lodos activos
2. Aireación prolongada (procesos de oxidación total)
3. Estabilización por contacto
4. Otras modificaciones al del sistema convencional de lodos activos: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendiente, alta carga, aireación con oxígeno puro
5. Filtros biológicos (percoladores)
6. Discos biológicos
7. Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)

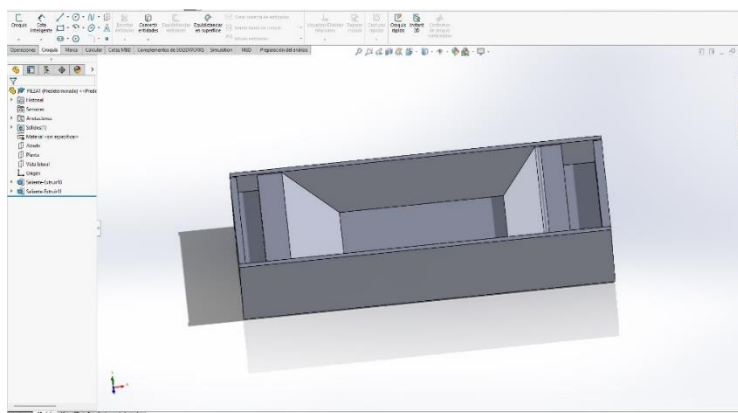


Figura 2. Diseño de la laguna secundaria en Solid Works®

En la Figura 3 se muestra el diseño de la laguna terciaria en donde se llevan a cabo los siguientes procesos:

- 1.- Micro tamizado

- 2.- Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas)
- 3.- Precipitación y coagulación
- 4.- Adsorción (carbón activado)
- 5.- Intercambio iónico
- 6.- Osmosis inversa
- 7.- Electrodiálisis
- 8.-Cloración y ozonización
- 9.- Proceso de reducción de nutrientes

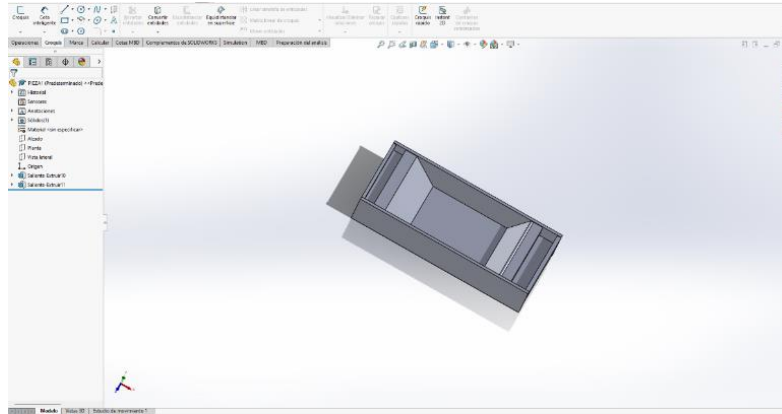


Figura 3. Diseño laguna terciaria en Solid Works®

En la figura 4 se muestran los diseños de los humedales los cuales son sistemas de depuración en los que se reproducen los procesos de tratamiento de agua, en concreto, de reducción de contaminantes. Los humedales artificiales pertenecen a las denominadas tecnologías no convencionales, o tecnologías de bajo consumo de tratamiento de agua residual.

La idea fundamental es que los metales pesados, el carbono, y el **fósforo de las aguas residuales** queden inmobilizados en el sedimento del humedal de manera permanente. Su funcionamiento es similar a un espacio natural. Estos humedales artificiales permiten depurar el agua filtrando los desechos en un espacio reducido y controlado.

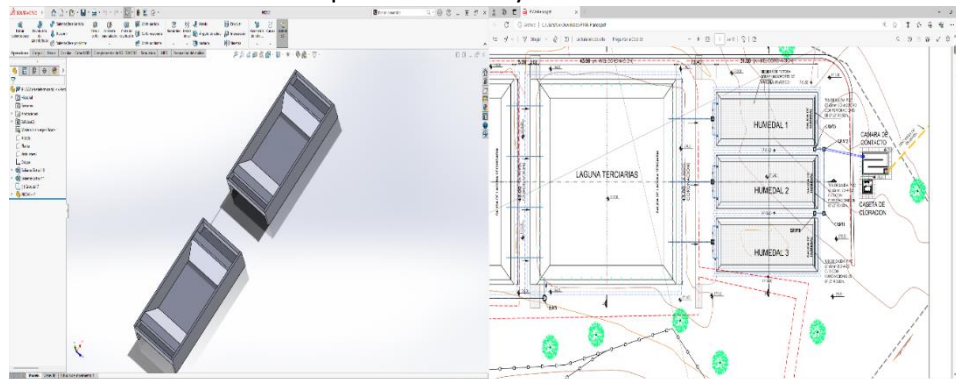


Figura 4. Diseño de los humedales

Unity: el líder mundial en realidad virtual y realidad aumentada (Freeware)

En Unity se realizó el recorrido virtual ensamblando todas las piezas que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales.

Unity es la plataforma líder del mundo en **Realidad Virtual (VR)** y **Realidad Aumentada (AR)**. Sus soluciones brindan a los creadores de proyectos de arquitectura, ingeniería, construcción y

manufactura las herramientas necesarias para producir **contenido interactivo 3D en tiempo real (RT3D)** innovadoras.

Mediante las **experiencias inmersivas**, las empresas de casi todos los sectores, mejoran sus procesos de diseño, implementación y revisión. Esto se traduce en un acercamiento entre las partes interesadas y el proyecto. Este acercamiento favorece a todas las partes de diferentes formas. (<https://www.semco.com.pe/unity-realidad-virtual/>).

A continuación, se muestra el desarrollo de la RAFA, laguna secundaria, laguna terciaria y humedal en Unity (Freeware) para programar el recorrido virtual (Figura 5).

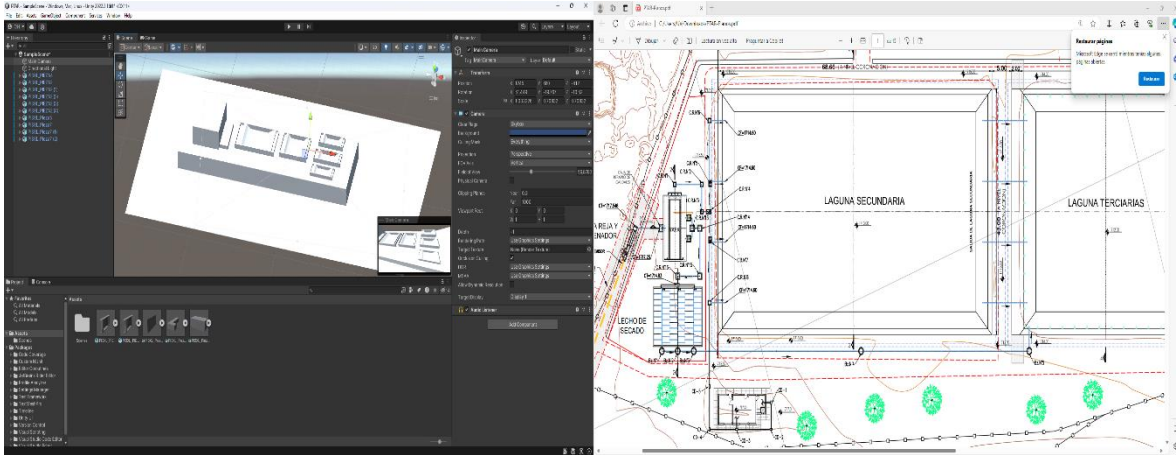


Figura 5. Diseño de la PTAR Unity Design (freeware).

Se realizó el recorrido virtual en Unity Design (freeware) estableciendo la técnica del movimiento de cámara sobre una línea guía e indicando la velocidad de renderización como se muestra en la figura 6.

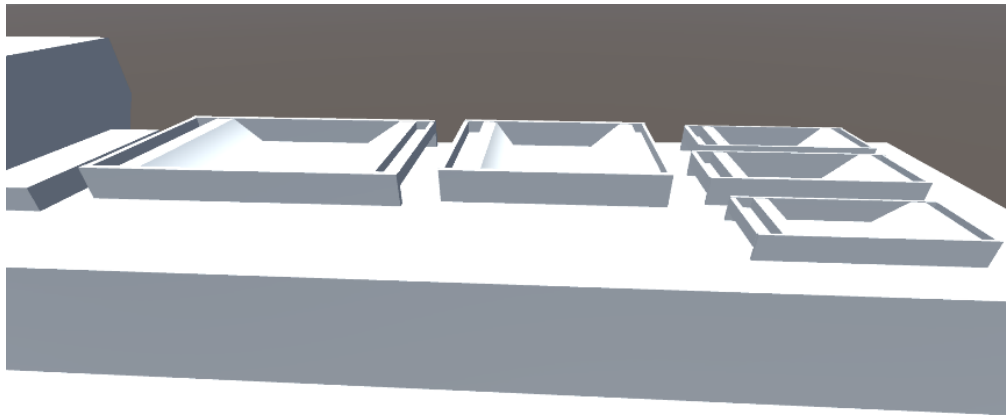


Figura 6. Recorrido virtual en la PTAR con Unity design®

Conclusiones

El alcance de conocer una planta de tratamiento de agua residual por parte del alumnado de una institución de educación superior, en ocasiones se ve opacado por la falta de recursos económicos y desconocimiento administrativo para vincularlos, sin embargo las tecnologías digitales nos permiten realizar un recorrido virtual a través de ella, desarrollándose mediante software de diseño, todas las partes de la misma es por esto que a través de una revisión bibliográfica, se pudo obtener



la información necesaria respecto al funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales las cuales sus procesos se dan en tres etapas las que se pueden describir en el diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) así como la etapa de las lagunas secundarias terciarias y humedales.

Existen diferentes softwares para realizar un recorrido virtual, en donde los más viable por contar con la licencia fue el SolidWorks® y de licencia libre se encuentra Unity Design® los cuales trabajan en formatos compatibles con extensiones y objetivos para el desarrollo del recorrido virtual.

El diseño de las partes de la planta se realizó con SolidWorks® las cuales se desarrollaron iniciando con un croquis de los planos de la empresa prestadora de servicios de agua potable de Arequipa, S. A. de Perú en donde sus planos están públicos en la red de internet, existen otras áreas importantes que también se encuentran en el diseño como lo es el laboratorio de control de procesos y oficina, el lecho de secado, la cámara de contacto y la caseta de cloración.

El presente proyecto se puede emplear para las experiencias educativas de los paquetes terminales de Ingeniería Química e Ingeniería en Biotecnología, así como en algunas experiencias educativas de la carrera de Ingeniería en ambiental.

Un proyecto posterior que se puede desarrollar es el manejo de volúmenes y de tratamiento del agua, así como de los residuos sólidos obtenidos mediante la realidad aumentada, controlando esos caudales mediante dispositivos físico, pero haciendo una simulación con realidad virtual inmersa.

Bibliografía

1. Noblecilla-Espinoza, I. K., & Espinoza-Guamán, E. E. (2025). *El impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en el aprendizaje secundario: una revisión sistemática*. Sociedad & Tecnología, 8(S1), 292–303. <https://doi.org/10.51247/st.v8iS1.598>
2. Machała, S., Chamier-Gliszczyński, N., & Królikowski, T. (2022). Application of AR/VR technology in Industry 4.0. En *Proceedings of the 26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2022)*. **Procedia Computer Science**, 207, 2990–2998. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.357>
3. Gutiérrez de Ravé, S., Gutiérrez de Ravé, E., & Jiménez-Hornero, F. J. (2025). Enhancing efficiency and creativity in mechanical drafting: A comparative study of general-purpose CAD versus specialized toolsets. *Applied System Innovation*, 8(3), 74. <https://doi.org/10.3390/asi8030074>
4. Planchard, D. C. (2023). *Engineering design with SOLIDWORKS 2023: A step-by-step project-based approach utilizing 3D solid modeling*. SDC Publications



Evaluación de la producción de bioetanol a partir de la fermentación del pulido de arroz

Areli García Arzaba *Osbaldo Hernández Guevara¹

Facultad de ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz

Autor de correspondencia: osbaldohg@gmail.com

Artículo científico

Recibido el 17 de febrero 2026

Aceptado 25 de marzo de 2026

Publicado: 12 de abril de 2026

Resumen: El pulido de arroz prácticamente no tiene ningún aprovechamiento en la industria arrocera por lo que en el presente trabajo se evalúa la producción de bioetanol por medio de un pretratamiento previo al pulido de arroz, una hidrólisis ácida para producir azúcares, una fermentación donde estos azúcares serán convertidos a etanol y una destilación donde se separarán el bioetanol. El diseño de experimentos se realizó teniendo como variables la temperatura y el tiempo de residencia en la hidrólisis ácida. Y en la fermentación alcohólica el pH y los °Brix. Se utilizó un ácido diluido al 5% para una hidrólisis ácida siendo este el más favorecedor después de realizar las pruebas pertinentes donde también se establecieron los parámetros adecuados siendo estos un calentamiento por un tiempo de 30 min a una temperatura de 92°C. Se realizó una fermentación con levadura de panificación *Saccharomyces cerevisiae*, obteniendo concentraciones de alcohol hasta de 80.89% por lo que resulta ser factible la producción de bioetanol. Así mismo también se calculó el rendimiento del pulido de arroz para producir bioetanol obteniendo resultados favorables de hasta 62.86%, el cual podría aumentar de realizarse pretratamientos más eficaces para ayudar al desdoblamiento de los azúcares en el proceso de hidrólisis.

Palabras clave: Plataforma, programación, educación, formativa

Introducción: En el presente trabajo se describe el proceso por el cual se obtendrá bioetanol de una manera ecológica, esto es, a partir del pulido de arroz, el cual es considerado un desecho en la industria arrocera y prácticamente no tiene ningún aprovechamiento. La industria arrocera comienza con lo que es la cosecha, seguido de la deshidratación del arroz con cáscara, esto es llevado a la planta de procesamiento donde el arroz con cáscara pasa a los molinos, transportado por unas maquinarias las cuales se encargan de remover la cascarilla de arroz, es aquí donde se obtiene lo que será recurso principal para la producción de bioetanol, el pulido. El pulido de arroz es un producto lignocelulósico, por lo que se puede aprovechar para la obtención de productos energéticos como el bioetanol, por medio de una hidrólisis química o enzimática seguido de una fermentación. La lignocelulosa es un integrante de las paredes celulares en las plantas, una biomasa que se produce por efecto de la fotosíntesis y una gran fuente de carbono. Los polímeros que constituyen a los productos lignocelulósicos son la celulosa y la lignina unidas por cadenas de hemicelulosa. Se le da un pretratamiento que tiene como propósito romper estos enlaces de una forma en que la celulosa reduzca su nivel de cristalinidad de incrementalmente la amorfa, después la hemicelulosa se debe tratar por hidrólisis ácida y durante este proceso la lignina se separa y puede llegar a descomponerse, seguido de ello en un post-tratamiento la celulosa se vuelve a tratar por una hidrólisis ácida con lo que se obtiene azúcares que se podrán fermentar y su contenido principal es la glucosa y algunas pentosas provenientes del proceso de preliminar de la hemicelulosa. Se realizará una fermentación alcohólica, que al mismo tiempo, ésta es llevada a cabo por las levaduras, en este caso se utilizará la levadura de panificación *Saccharomyces cerevisiae*. Es un proceso anaeróbico, ya que se produce en ausencia de oxígeno. Las fermentaciones pueden ser: naturales, cuando las condiciones ambientales permiten la interacción de los microorganismos y los sustratos orgánicos susceptibles; o artificiales, cuando el hombre propicia condiciones y el contacto referido.



Metodología

El pulido de arroz fue obtenido de la arrocería Shettino de la ciudad de Orizaba, Veracruz. En una cantidad aproximada para la investigación de 5 Kg. de muestra. El agua destilada utilizada fue proveniente de la torre de ingeniería química de la Facultad de Ciencias Químicas. Se utilizó la levadura de panificación *Saccharomyces cerevisiae*, comercializada por la empresa LESSAFRE. Durante el proceso y las diferentes determinaciones se utilizaron varios equipos de laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana.

Pretratamiento

Se seleccionó el pulido de arroz haciéndolo pasar a través de una malla tipo tamiz que refiere las partículas o tamaño medio menor a 2 mm esto con la finalidad de tener una mayor homogeneidad de tamaño y una mayor superficie contacto de partículas con el ácido en la etapa de hidrólisis.

Caracterización física y química

Se llevó a cabo una caracterización de propiedades de pulido de arroz para tener en cuenta sus componentes más esenciales. Se realizó la determinación de hemicelulosa, holocélulosa, celulosa, cenizas, humedad, pH, lignina y carbohidratos, las cuales se detallan a continuación.

Hidrólisis ácida

Por medio de la hidrólisis química se produjeron azúcares, mismos que se utilizaron en la fermentación a alcohol. Para la producción de éstos azúcares se realizaron distintas pruebas para conocer y evaluar la concentración adecuada del ácido sulfúrico (H_2SO_4), la experimentación se llevó a cabo con las concentraciones siguientes: 5, 10, 15, 20 y 72 %. Y tiempos de reposo de 0 h, 3 h, y 24 h, al igual que se varió la temperatura entre 92°C y una temperatura ambiente de 20 °C.

Determinación de azúcares

La determinación de azúcares totales en soluciones acuosas se llevó a cabo por el método de fenol-sulfúrico, este método se basa en una valoración colorimétrica de hidratos de carbono que utiliza una disolución de glucosa/sacarosa como patrón (0 a 100 mg mL⁻¹). La absorbancia se leyó a 490 nm en un espectrofotómetro UV/vis.

Fermentación

Se separó la parte hidrolizada en este caso el sobrenadante, de la parte sólida, por medio de una filtración. La fermentación fue llevada a cabo de tres formas distintas después de haberse analizado cuales fueron las muestras con mayor producción de azúcares en la hidrólisis realizada anteriormente. Estas muestras fueron estabilizadas en un pH adecuado con hidróxido de sodio (NaOH). Se midió el pH final de las muestras para verificar que se encontraran dentro del rango de 4.5 a 5.5 de pH y se hicieron los cálculos correspondientes para agregar 10 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* por cada 100 ml de muestra sin haber agregado aun hidróxido de sodio (NaOH).

Una vez listas las muestras se dejaron en una incubadora orbital a una temperatura de 28 °C debido a que la temperatura es un factor muy importante para la vida y desarrollo de la levaduras, a 200 rpm para una oxigenación para que pudieran reproducirse, debido que en ausencia de aire solo se producirían algunas generaciones y su reproducción se detendría, se tuvo precaución ya que también por una aireación excesiva puede causar una oxidación y pérdida de alcohol por arrastre en el movimiento, una vez teniendo en cuenta sus necesidades de incubación se dejaron incubar por un tiempo de 48 h.

Destilación

Antes de poner a destilar las muestras, se procedió a filtrar nuevamente para eliminar levaduras que impidieran o retardaran la ebullición. Una vez lista la muestra por medio de un equipo Quiffick se realizó la separación del etanol de la corriente de salida de los fermentados.

Se montó el equipo Quiffick, se le incorporara un termómetro para llevar un control de la temperatura, que deberá encontrarse dentro de rango de 75 °C a 85 °C.

Recuperación de producto

Se obtendrá bioetanol al cual se analizara para comprobar su rendimiento y eficacia. Se Utilizara un alcoholímetro si es que la cantidad de bioetanol recuperado es suficiente en volumen, en caso de no ser así, se podrá calcular su densidad. Una vez teniendo el valor de la densidad, se podrá saber el valor del

% en peso de alcohol, si el valor no llegase a ser exacto entonces se realizará una interpolación para saber el valor de % en peso del bioetanol según la densidad resultante.

Una vez con resultados se procederá a calcular el rendimiento del pulido de arroz para la producción de bioetanol, a través de Ecuación mostrada a continuación.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Etanol producido}}{\text{Sustrato consumido}} \times 100 \quad (\text{ec } 1)$$

Resultados

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica

Determinación	Resultado
% de humedad	9.82 %
% Cenizas en base seca	9.58 %
% Cenizas en base húmeda	8.61 %
% Materia Orgánica	9.41 %
pH	6.2
Holocelulosa	78.51 %
Celulosa	38.60 %
Hemicelulosa	39.91 %
Lignina	23.5 %

Tabla 2. Hidrólisis acida

Tiempo	0 hrs.	3 hrs.	24 hrs
Temperatura Concentración de ácido	92°C	20 °C	92°C
5%	17.354	5.901	21.21

En la Figura 1. Se muestran los resultados de concentración de azúcares antes de iniciar la hidrólisis, así mismo se muestran la producción de azúcares, como resultados de la hidrólisis. En la figura 3 se observa la concentración de azúcares que se obtuvieron en el desarrollo de la hidrólisis ácida.

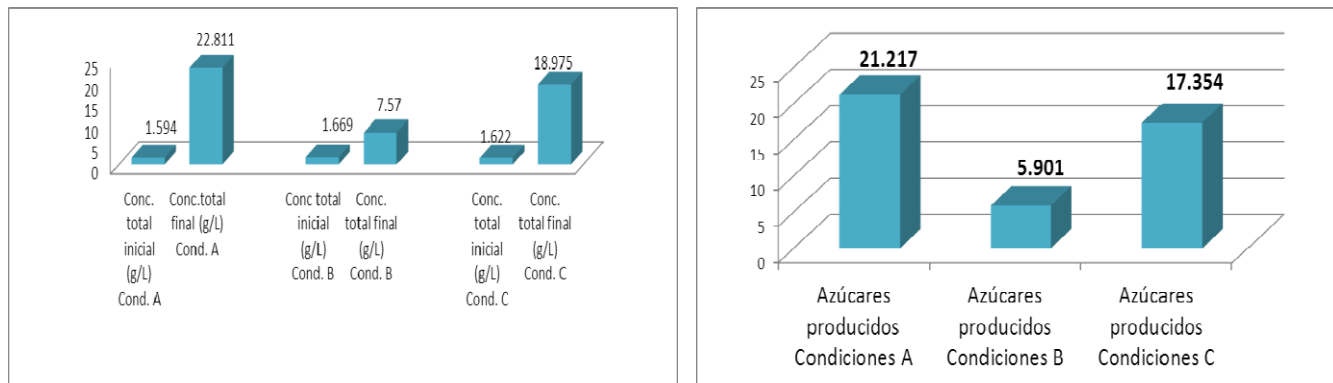


Figura 1. Concentración de azúcares antes y después de la hidrólisis ácida.

Fermentación

Terminada la hidrólisis se procedió a filtrar el líquido, donde se recuperó 155 ml. de la muestra en condiciones A, 137 ml de la muestra en condiciones B, y 142 de la muestra en condiciones C, La solución se separó en matraces rotulados y se midió el pH de cada una de las muestra obteniendo valores demasiados ácidos debido al ácido sulfúrico agregado en la hidrólisis, se estabilizo su pH con hidróxido de sodio, agregándoles hasta obtener un pH dentro del rango de 4.5 a 5.5

Una vez teniendo las condiciones para una fermentación se procedió a agregarle la levadura a cada uno de los matraces con las muestras, se hizo a proporción adecuada para cada uno según la cantidad de hidrolizado que se obtuvo para cada una de las muestras, en una proporción de 10% en peso.

Tabla 3. Análisis de la estabilidad de pH en el medio.

Muestra	Cantidad de muestra (ml)	de NaOH agregado (ml)	pH estabilizado	Levadura agregada (g)
Condiciones A	155 ml.	35 ml.	4.73	15.5 g
Condiciones B	137 ml.	33.7 ml.	4.98	13.7 g
Condiciones C	142 ml	34.5 ml	4.92	14.2 g

Las muestras fueron llevadas a una incubadora orbital donde se predetermino una temperatura de 28 °C a 200 rpm por un tiempo de 48 horas.

Destilación

Se montó el Equipo Quiffick y se procedió a vaciar e fermentado previamente filtrado al matraz balón, se mantuvo una temperatura dentro del rango de 75 °C a 85 °C.

Se obtuvo un total de 29ml, 30 ml, y 29.5ml de las muestras. Una vez recolectado el producto, se procedió a medir el volumen y peso de las muestras. La cantidad obtenida es menor como para poder medirse con ayuda de un alcoholímetro, por lo que se recurrió a obtener el valor de la densidad con lo que se puede saber la concentración de alcohol. Se procede a realizar los cálculos correspondientes para obtener las concentraciones de alcohol de las muestras.

Tabla 4. Rendimiento obtenido de la producción de bioetanol a partir del pulido de arroz

Muestra	mL de muestra	mL de bioetanol	Densidad	Concentración de bioetanol
Condiciones A	155	18.7	0.841	80.89 %
Condiciones B	137	16.8	0.885	62.76 %
Condiciones C	142	18.1	0.862	70.0 %

Se calculó el rendimiento que tiene el pulido de arroz para producir bioetanol en las tres muestras que se decidieron comparar. Obteniendo un rendimiento de 62.8696 en la muestra en condiciones A, seguido de la muestra en condiciones B, con un rendimiento de 62.5156% y finalmente con un rendimiento de 59.5848% la muestra en condiciones C, siendo esta la más baja.

Conclusiones

Es factible la producción de bioetanol a partir del pulido de arroz empleando una hidrólisis ácida y una fermentación con levadura *Saccharomyces cerevisiae* como lo muestran los resultados obtenidos, sin embargo es necesario un pre tratamiento químico anterior a la hidrólisis para obtener una producción mayor de bioetanol.

En condiciones A, se obtuvo el rendimiento del pulido de arroz más alto de 62.8696% con una concentración de bioetanol del 80.89 % utilizando una concentración de ácido sulfúrico al 5% con un tiempo de residencia de 24 hrs a una temperatura ambiente de 20 °C y un calentamiento de 92 °C. En condiciones B, se obtuvo un rendimiento de pulido de arroz del 59.5848% siendo este el más bajo, con una concentración de alcohol del 62.76%, su bajo rendimiento se debe a que el tiempo de residencia fue demasiado pequeño siendo este de 3 hrs. y con una temperatura ambiente de 20 °C. Sin embargo en las condiciones C se obtuvo un rendimiento del pulido de arroz del 62.5156% con una concentración del 70% en alcohol, siendo este muy próximo a la muestra en condiciones B, con una diferencia de que a la muestra en condiciones C, no se le dejó un tiempo de residencia, sino que se procedió a calentar enseguida a 92 °C durante 30 min, lo que hace que este método sea el ideal para la hidrólisis ácida, ahorrando tiempo para la producción de azúcares, y así poder proseguir con la fermentación. Se obtuvo

18.6 ml de bioetanol de 25 g. de pulido de arroz, con lo que se calculó un rendimiento de pulido de arroz del 62.870 %.

Para finalizar se confirma que el empleo de materiales lignocelulósicos como la cascarilla de arroz como materia prima para la producción de bioetanol constituye una alternativa eficaz para contribuir a la demanda actual en combustibles, contribuyendo a la solución de problemas ambientales provocados principalmente por desechos agroindustriales.

Bibliografía

1. Dagnino E.P. Chamorro R.E. Romano S.D. Felissia F. "Optimización de pretratamiento ácido de biomasa lignocelulósica para la obtención de bioetanol" *VIII congreso nacional- tercer congreso Iberoamericano hidrogeno y fuentes sustentables de energía*. 2011
2. David Quinceno Villada; Marvin Yair Mosquera Gutiérrez. "Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible". *Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico, Universidad Autónoma de Occidente, facultad de ingeniería, Santiago de Cali*. 2010