

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ingenierías
Departamento de Química e Ingeniería Química



Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación
Trabajo de diploma presentado en opción al título académico
de
Ingeniero Químico

Autor: Manuel Angel Tamayo Garcés

Tutores: Ing. Roberto Triana Figueroa

Dr. C. Marcelo Marcet Sánchez

“Matanzas, 2014”



Nota de aceptación

<hr/> Nombre y Apellidos	<hr/> Firma
<hr/> Nombre y Apellidos	<hr/> Firma
<hr/> Nombre y Apellidos	<hr/> Firma
<hr/> Nombre y Apellidos	<hr/> Firma
<hr/> Nombre y Apellidos	<hr/> Firma



Declaración de Autoridad

Yo Manuel Angel Tamayo Garcés declaro ser el único autor de este trabajo el cual tiene por título: “Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación” con el fin de optar por el título de ingeniero químico. He de señalar que la idea básica de esta investigación surge a partir del resultado de un proyecto de la Planta de Alcoholes de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas. Según las facultades que me están conferidas autorizo para su consulta a todo aquel que la necesite, quedando prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Firma



Pensamiento

“El hombre que triunfa es aquel que convierte en realidad las aspiraciones que abriga su mente.

Al principio traza retos que deben condicionarlo al éxito y no permitir que nada, ni nadie los desvíe de ellos”....

Ralph Hemphill



Dedicatoria

Dedico esta tesis a quienes me enseñaron a:

Querer el presente, elegir el futuro y trabajar para conseguirlo.

A entender que como ellos se puede ser buen hijo, hermano, esposo, guía y amigo.

Unos compañeros, que en todo momento, con sus exigencias y amor, han sabido forjar un mejor camino para mi futuro.

Unos consejeros que han sabido escucharme, comprenderme y darme la más sencilla, pero más alentadora, palabra de apoyo.

Los responsables, que con su mayor dedicación, esfuerzo y perseverancia, me han dado el mejor ejemplo y testimonio de vida.

Ellos siempre están presentes cuando más los necesito, sin esperar nada a cambio.

Por eso doy gracias a Dios por su más bella creación: esos seres excepcionales que se proyectaron en la vida para darme vida....

¡Mi madre y mi padre!

Gracias por todo.



Esta tesis es el fruto de años de dedicación, exigencia, sacrificios e ingenio, no hubiese sido posible sin la intervención de muchas personas. Mediante estas líneas quiero agradecerles de todo corazón y ser disculpado por aquellas que no aparecen en ella, de las que si fuese un egoísmo olvidarlas. Gracias a ellas considero que me he convertido en un hombre de bien y un mejor profesional. A todos mis más grandes agradecimientos.

A **Roberto**, mi tutor¹ y además amigo personal, por ser un guía ejemplar, por aguantar todas mis malcriadeces y a pesar de todo seguir adelante, por convertir mi sueño en realidad, gracias, siempre estaré en deuda contigo.

A **Marcelo**, mi tutor² y amigo, alguien que admiro por su profesionalidad e inteligencia desde siempre, por guiarme por el mejor camino, por ser la fuente de conocimientos que ha tratado de calmar mi sed, eres de esas personas capaces de hacer realidad cada proyecto que te propongas. Muchas gracias Marcelo.

A **Robertico, Tati y Guerra**, soldadores y tornero, por su colaboración incondicional y ayuda en la construcción del equipo. **Gracias por todo amigos.**

A **Jesús**, consultante de este trabajo, por acogerme como si fuera un alumno de tu carrera y enseñarme a trabajar en un software que no tenía ni idea que existiese. **Gracias master.**

A **Damaris**, amiga y colega como me llamaste alguna vez, por darme esa gota de aliento cuando me sentía sin fuerzas, por ser mi abogada defensora durante la carrera y sacarme de situaciones sin saber si tenía o no la razón, por tu preocupación y ayuda siempre, **Gracias colega.**

A **Kvasnicka Frantisek**, profesor del Instituto Superior de Tecnología Química de Praga, por su invaluable ayuda a este trabajo, por su apoyo institucional y compartir sus experiencia de excelente investigador, por dedicar su tiempo en la espera del resultado de los análisis de la moringa. A usted mis respetos y mil gracias.

A **Tamayo**, mi papá, no eres capaz de imaginar cuanto te admiro, tu fortaleza, tu esfuerzo diario, tu ejemplo personal digno de imitar en toda la extensión de la palabra, gracias por todo, eres mi luz. Gracias, mil gracias papá.



A **Laly**, mi mamá, por ser el ser más excepcional que he conocido, amiga, ejemplo, por permitirme cumplir este sueño, por cuando muchos no creyeron en que este día fuese a llegar tu siempre confiaste en mí, por sacrificar tu vida para que yo viva la mía, por hacer que me convierta en un hombre de bien, no tengo palabras para expresar mi gratitud. Para ti mi mamita mis más grandes agradecimientos.

A **Llilietty**, mi hermana, te agradezco que existas porque tu amor y cariño es algo de lo que más he disfrutado en la vida y es ese amor lo que me hace quererte de esta manera, a dios le pido que dentro de seis años estemos disfrutando esta misma felicidad, pero tú de exponente.

A **Beatriz**, mi novia, porque llegaste en el momento justo, por tu apoyo, tu comprensión, tu sacrificio, tu amor desde el comienzo hasta el final de los días, por las noches y madrugadas enteras, exigiéndome lo mejor en este trabajo, por convertirte en tutora y oponente a la vez, por todo gracias.

A **Isita, Dulcita y David**, madrastra y hermanos, por su preocupación y apoyo en todo momento gracias y porque en pocos años yo me encuentre de exportador en una de las ponencias de mis hermanos.

A **Isa y Marrero**, mis tíos por estar al pendiente de cada paso que doy, por ser las personas con las que siempre he podido contar, por tenerme reservado siempre un rinconcito en su casa en el momento que lo necesite. Gracias por todo.

A **Orly**, por ser mi amigo, mi compañero de muchas batallas, mi confidente. Por su preocupación y ayuda siempre. Muchas gracias, primo.

A **Lida y Juany**, mis Suegros por su preocupación y apoyo en todo momento, por darme la oportunidad de conocer gente maravillosa, por darme una grata acogida como si fuera uno más de la casa, por levantar mi ánimo cuando los resultados docentes no eran satisfactorios con la teoría de mi suegra “**Que el estudiante es el que suspende**”.

A **el colectivo que se reúne en el reparto 13 de marzo**, por ser verdaderos amigos incondicionales en las distintas situaciones que juntos hemos sabido superar. Gracias por darme aliento cuando los niveles de estrés llegaban a su tope. A todos Gracias.

Agradecimientos



A **mis profesores**, por la formación que me dieron y el apoyo en todo, durante estos cinco años.

A **mis compañeros de carrera**, por ayudarme a sentir más corto el camino y a encontrar la realidad de mis sueños. A todos gracias.

En fin, agradezco a todas las personas que participaron de corazón en que este sueño logre realizarse.



En la siguiente lista se incluyen los símbolos comunes que se emplean en el documento, los símbolos más especializados se definen en el texto al exponer los conceptos correspondientes.

Lista de símbolos

Val	Valina
Leu	Leucina
Thr	Treonina
Lys	Lisina
His	Histidina
Phe	Fenilalanina
Ile	Isoleucina
Arg	Arginina
Trp	Triptófano
Met	Metionina
Ala	Alanina
Pro	Prolina
Gly	Glicina
Ser	Serina
Cys	Cisteína
Asn	Asparagina



Gln	Glutamina
Tyr	Tirosina
Asp	Ácido aspártico
Glu	Ácido glutámico
°Bx	Grados Brix
rpm	Revoluciones por minutos
a.C.	Antes de cristo
p.a.	Puro para análisis
D _t	Diámetro total
V	Volumen
N	Velocidad de agitación
P _m	Potencia del agitador
D _a	Diámetro horizontal del agitador
E	Altura desde el fondo del tanque al agitador
L	Longitud horizontal de la paleta del agitador
W	Longitud vertical de la paleta del agitador
J	Longitud horizontal del deflector
H	Altura del reactor
Ho	Altura libre



S	Factor de escala
CUP	Pesos cubanos
A _{TC}	Área de transferencia de calor
Subíndices	
m	Referido al modelo
p	Referido al prototipo



Resumen

En esta investigación se realizó el escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación aplicando el método de similitud y empleando como material de construcción, acero inoxidable AISI 316 reutilizado. En el dimensionado del prototipo se obtuvo un factor de escala de 4.29. Se seleccionó como materia prima principal, para la etapa de maceración, las hojas de *moringa oleífera*. Por otra parte, la bromelina proveniente del fruto de la piña (*ananas comosus*) se usó como enzima proteolítica para la hidrólisis enzimática de las hojas de moringa. Las hojas de *moringa oleífera* fueron cortadas, trituradas y secadas en estufa a 50°C durante 48h, se le determinó el contenido de humedad (5%), proteína cruda por el método de Kjeldahl (264.4g/kg materia seca) y aminoácidos esenciales y no esenciales. La hidrólisis enzimática se realizó según un diseño de experimentos Box-Behnken utilizando el software *STATGRAPHICS Plus versión 5.0 para Windows* donde se obtuvo un modelo matemático que permite cuantificar y optimizar la acción proteolítica de la enzima sobre las hojas de la planta arrojando como resultado un máximo de 1.45268°Bx para una masa de moringa de 49.9475g y un tiempo de reacción de 59.9996min. Se empleó el software ANSYS para obtener mediante simulación, la distribución de temperaturas en las diferentes zonas del reactor registrándose valores máximos de hasta 325.508°C y la determinación de las tensiones admisibles registrándose valores de 116.14MPa lo que evidencia la resistencia mecánica que posee el mismo. Se calculó el costo total generado por el proceso de construcción del reactor enchaquetado con agitación (945 pesos cubanos).



Abstract

In this research the scaling and building of a jacketed stirred reactor is performed using the method of similarity and employing as a building material, reused stainless steel AISI 316. Dimensioning the prototype, a scale factor of 4.29 was obtained. The main application of this equipment is the study of various operating parameters in the mashing step of the brewing industry. It was selected, as the main raw material for mashing, *moringa oleífera* leaves. Besides, bromelain from pineapple fruit (*ananas comosus*), was used as proteolytic enzyme for the enzymatic hydrolysis of moringa leaves. Leaves of *moringa oleífera* were cut, ground and oven dried at 50°C for 48h, it was analyzed the moisture content (5%), crude protein by the Kjeldahl method (264.4g/kg dry matter) and the content of essential and not essential amino acids. Enzymatic hydrolysis was performed following an experimental design using the Box-Behnken STATGRAPHICS Plus software version 5.0 for Windows. It was obtained a mathematical model that allows quantifying and optimizing the proteolytic action of the enzyme on the leaves. As results, it was obtained a maximum value of 1.45268°Bx for a mass of 49.9475g of moringa leaves, and a reaction time of 59.9996min. ANSYS software was used to obtain, by simulation, the temperature distribution in different zones of the reactor recording maximum values of up to 325.508°C. The determination of the allowable stresses recorded values of 116.14MPa which shows the mechanical strength that has this reactor. The total cost for the construction of this jacketed stirred reactor was also calculated (945 Cuban pesos).



Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Análisis bibliográfico	3
1.1. Métodos y criterios de escalado de reactores	3
1.2. Métodos de escalado	3
1.2.1. Principios de similitud	3
1.2.2. Modelos y Mockups	4
1.2.3. Modelación matemática	4
1.3. Escalado de reactores químicos	5
1.3.1. Potencia de agitador/volumen constante	5
1.3.2. Coeficiente de transferencia de calor constante	6
1.3.3. Velocidad de cizallamiento constante	6
1.3.4. Número de Reynolds constante	6
1.4. Aceros inoxidable	6
1.4.1. Propiedades del acero AISI 316	7
1.4.2. Características químicas del acero AISI 316	7
1.5. Maceración	7
1.6. <i>Moringa oleífera</i> como materia prima	9
1.6.1. Origen e historia de la <i>Moringa oleífera</i>	9
1.6.2. Especies del género	10
1.6.3. Características y propiedades	10
1.6.4. Aplicaciones y usos de la <i>Moringa oleífera</i>	12
1.6.5. Aminoácidos esenciales presentes en la hoja de <i>Moringa</i> y sus funciones en la salud humana	14
1.7. La Piña	15
1.7.1. Usos más frecuentes	15
1.7.2. La bromelina	16
1.7.3. Propiedades de la bromelina	16
1.8. Origen de la cerveza	17
1.8.1. La cerveza como bebida alcohólica	17
1.8.2. La cerveza y su proceso productivo	19



1.8.3. Características de la cerveza_____	19
1.8.4. Cerveza a base de diferentes aditivos_____	19
1.9. Importancia de la presencia del lúpulo en la cerveza_____	20
1.9.1. Usos tradicionales_____	21
1.10. Las levaduras en la cerveza_____	21
1.10.1. Tipos de levadura cervecera_____	22
1.10.2. Clasificación de las levaduras cerveceras_____	22
1.11. El agua en la industria cervecera_____	23
Conclusiones parciales del capítulo _____	24
Capítulo 2. Materiales y métodos_____	25
2.1. Selección del material de construcción del reactor_____	25
2.2. Materias primas_____	25
2.2.1. <i>Moringa oleífera</i> _____	25
2.2.2. Fruto de piña (<i>ananas comosus</i>) _____	26
2.3. Determinación de la humedad_____	26
2.4. Metodología para determinar los grados (°Bx) _____	27
2.5. Metodología para la medición del pH_____	27
2.6. Metodología para el diseño de experimento_____	27
2.7. Metodología para determinar proteína cruda en las hojas de la <i>moringa oleífera</i> _____	28
2.7.1. Material y equipo_____	28
2.7.2. Reactivos_____	28
2.7.3. Procedimiento_____	29
2.8. Metodología para la determinación del contenido de aminoácidos en las hojas de la <i>moringa oleífera</i> _____	31
2.8.1. Hidrólisis de la muestra_____	31
2.8.2. Tratamiento de la muestra_____	31
2.8.3. Condiciones del análisis con HPLC_____	31
2.9. Obtención de los principales parámetros de operación y escalado de un reactor a escala banco_____	31



2.10. ANSYS_____	35
2.11. Metodología para la simulación en ANSYS_____	36
2.11.1. Pre-proceso_____	36
2.11.2. Propiedades del material_____	37
2.11.3. Mallado_____	38
2.11.4. Análisis Térmico_____	38
Capítulo 3. Análisis de los Resultados_____	39
3.1. Obtención de los principales parámetros de operación y escalado de un reactor a escala banco_____	39
3.2. Hidrólisis enzimática de las hojas de la <i>moringa oleífera</i> _____	40
3.3. Análisis de significación_____	41
3.4. Determinación del contenido de proteína cruda y aminoácidos en la hoja de <i>moringa oleífera</i> _____	42
3.5. Simulación de la distribución de temperatura en el reactor enchaquetado con agitación_____	44
3.6. Análisis de Resistencia Mecánica del reactor_____	45
3.7. Costo de la construcción del reactor enchaquetado con agitación_____	45
Conclusiones_____	47
Recomendaciones _____	48
Referencias Bibliográficas _____	49
Anexos_____	55



Introducción

En la Planta Piloto de Producción de Bebidas correspondiente a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos se ha venido trabajado intensamente en la producción de varias bebidas a partir de subproductos de otras industrias mediante el empleo de tecnologías limpias. La producción de una bebida fermentada con un alto valor calórico y bajo contenido alcohólico resulta un tema de gran interés investigativo capaz de lograr en gran cuantía la sustitución de importaciones y la fortificación del contenido nutricional de las bebidas de forma general. El proceso de producción de cerveza requiere de sus cuatro ingredientes fundamentales: agua, cebada, lúpulo y levadura (García, 2001); estos tres últimos componentes son los que encarecen el proceso de elaboración industrial de esta preciada bebida en Cuba debido a la necesidad de su importación. Actualmente, con excepción de Alemania, cereales como arroz y trigo también son utilizados en sustitución parcial de la cebada (SINDCERV, 2008). El grupo de investigación de la Planta Piloto de Producción de Bebidas correspondiente a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos desarrolló recientemente un trabajo con la incorporación de la *moringa oleífera* con resultados alentadores (Ricardo, 2012). Las hojas de la *moringa oleífera* son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001). El empleo de enzimas proteolíticas permite hidrolizar las proteínas contenidas en diversas materias primas. Las proteasas son enzimas que hidrolizan las cadenas polipeptídicas de las proteínas, se caracterizan por tener gran variedad de especificidades (Gacesa y Hubble, 1990). La bromelina se obtiene del jugo, de la fruta o de los tallos de la piña (*ananas comosus*), es una glicoproteína del grupo de las cisteína proteasas. Actúa de preferencia sobre los aminoácidos básicos y aromáticos de las proteínas. Su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8 y tiene baja tolerancia térmica y se utiliza para hidrolizar proteínas solubles de la cerveza que pudieran precipitar y causar opacidad por el enfriamiento (Carrera, 2002). Según Dragone *et al.*, (2002), en el proceso de elaboración de cerveza, la etapa fundamental es la maceración, donde se promueve la hidrólisis enzimática o conversión enzimática. La finalidad de la maceración es la conversión de los almidones de los cereales en sustancias más simples y susceptibles de ser solubles



y fermentarse tales como el azúcar de malta y otros compuestos de baja masa molar (Gupta *et al.*, 2010).

En el proceso de investigación -para la obtención de una bebida fermentada con alto valor nutricional- en función de la incorporación de las hojas de moringa oleífera y la bromelina como enzima proteolítica para la etapa de maceración es preciso contar con un equipo de menor escala que permita minimizar el consumo de materias primas en la experimentación para su posterior escalado.

Por lo que se puede plantear como **problema de la investigación:**

¿Cómo escalar y construir un reactor enchaquetado con agitación para la producción futura de una bebida fermentada con alto valor nutricional a escala piloto?

Hipótesis: Si se utiliza la metodología de escalado y construcción para reactores enchaquetados con agitación se podrá obtener posteriormente una bebida fermentada con alto valor nutricional a escala piloto.

Objetivo general: Aplicar la metodología de escalado y construcción de reactores enchaquetados con agitación para la producción futura de una bebida fermentada.

Objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica que sustente la posible aplicación de la tecnología cervecera en la producción de una bebida fermentada sostenible.
2. Escalar un reactor enchaquetado de tanque agitado de escala piloto a escala banco.
3. Construir un reactor enchaquetado de tanque agitado a escala banco.
4. Obtener un modelo matemático que permita maximizar el contenido de sólidos solubles en la etapa de maceración.
5. Simular mediante elementos finitos los parámetros de operación del reactor enchaquetado construido.



Capítulo 1. Análisis bibliográfico

1.1. Métodos y criterios de escalado de reactores

Aunque los avances en modelación matemática y medios de computación permiten cada vez más una interrelación mayor entre el diseño y el escalado, algunos investigadores lo delimitan, considerando que en el diseño se utilizan correlaciones bien establecidas y propiedades físicas estimadas o medidas, mientras que en el escalado se hace modificando un resultado medio por un factor que involucra, entre otras cosas, la relación de las dimensiones lineales del modelo y el prototipo. El problema del escalado es encontrar ese factor. La verdad sobre el escalado es casi imposible de encontrar, pues la verdadera similitud no existe. Por ello, para el intento de un escalado se combinan diferentes técnicas que van desde el análisis matemático hasta la comparación de las correlaciones existentes de los resultados obtenidos del modelo experimental, incluyendo los experimentos a escala pequeña. Los sistemas biológicos, por las características especiales que tienen, son tratados en forma especial (González, 2005).

1.2. Métodos de escalado

Basio (1985) y Trambouze (1979) plantean como principales métodos de escalado los siguientes: Principios de similitud, Modelos y Mockups (escala demostrativa o modelo de tamaño real) y la modelación matemática.

1.2.1. Principios de similitud

Este principio involucra las relaciones entre sistemas de diferentes tamaños. En el caso de un reactor químico esta similitud se representa generalmente por grupos adimensionales, que caracterizan los fenómenos del proceso y que permanecen constantes durante el escalado. El significado físico de estos grupos es una relación de constante de tiempo para los diferentes mecanismos involucrados. Por esta razón, mantener grupos adimensionales constantes significa que la importancia relativa de los mecanismos involucrados no cambia durante el escalado.



En ingeniería química se utilizan generalmente tres tipos de similitudes: la mecánica, la térmica y la química.

- ✓ **Similitud mecánica:** se requiere de las similitudes geométricas, cinemáticas y dinámicas. La geométrica exige que el sistema tenga la misma geometría en ambas escalas, la cinemática que las velocidades de los fluidos tengan una relación constante en puntos correspondientes de los dos sistemas, mientras que la similitud dinámica exige que las fuerzas creadas por o hechas sobre los fluidos mantengan una relación constante en puntos correspondientes de uno y otros sistemas.
- ✓ **Similitud térmica:** se tiene en cuenta principalmente en sistemas en los cuales hay un flujo de calor de características importantes para el sistema.
- ✓ **Similitud química:** para todas las reacciones químicas las temperaturas o los perfiles de temperatura-tiempo deben ser las mismas en las industrias grandes y en las pequeñas. En sistemas homogéneos, los tipos de reacción y las concentraciones iniciales deberán ser los mismos. En sistemas heterogéneos, el producto del tiempo de reacción por el área de interface de la unidad de volumen de reactor ha de ser el mismo para ambos.

1.2.2. Modelos y Mockups

Han alcanzado gran desarrollo, sobre todo en sistemas muy complejos tales como los que incluyen reactores heterogéneos y catalíticos. Muy usados en la industria del petróleo.

1.2.3. Modelación matemática

Implica la representación de un sistema físico por una serie de ecuaciones la cuales, en forma limitada, pueden representar el sistema bajo estudio en dependencia del nivel de descripción que se decida tomar. El modelo matemático es la implementación ideal para el escalado de un proceso.



1.3. Escalado de reactores químicos

Durante la investigación y el desarrollo de nuevos procesos químicos uno de los problemas que marca especial atención es el escalado de reactores químicos.

Los principales métodos para el escalado coinciden con los descritos antes y, por supuesto, como en todo escalado, ir directamente del laboratorio a la escala industrial es poco factible. En la práctica, el punto de partida se apoya en los resultados del laboratorio; el problema radica en lograr la misma efectividad en una escala superior e incluso mejorar los resultados. Debe apuntarse que en los últimos años la situación acerca del escalado de los reactores químicos se ha ampliado, porque las investigaciones se han encaminado a determinar las distribuciones de tiempo de residencia y los modelos flujo, así como los perfiles de velocidades y concentraciones en el equipo y su influencia sobre la velocidad global en el proceso.

La experiencia acumulada ha permitido establecer que para el escalado es imprescindible realizar pruebas a una escala pequeña con el fin de obtener los datos necesarios. El desarrollo y escalado de reactores químicos, sobre todo en la industria farmacéutica y biotecnológica, requieren de especial atención por la amplia variedad de complejidades cinéticas que la misma involucra, y es por esto que las reglas generales para el escalado a veces son difíciles de aplicar a estos equipos de la industria química, no obstante se reportan algunos de los principios o criterios más usados y su por ciento de uso para el escalado ([Anexo 1](#)) (Galindo, 1996 y Asenjo, 1994).

1.3.1. Potencia de agitador/volumen constante

Este criterio es apropiado cuando la tarea fundamental es mezclar el líquido. Se considera como uno de los criterios más usados, sobre todo en procesos controlados por carga. El número de Reynolds se incrementa con el volumen acorde a P/V constante.



1.3.2. Coeficiente de transferencia de calor constante

Es apropiado cuando el problema fundamental en el reactor es la eliminación del calor generado por la reacción. Este criterio se fundamenta en igualar las ecuaciones del coeficiente de transferencia de calor para ambos sistemas. Para arribar al mismo coeficiente de transferencia de calor las facilidades de eliminación de calor deben incrementarse, porque la generación de calor es proporcional a $(V_L/V_S)^{2/3}$. En algunos casos el uso de un serpentín u otro dispositivo, adicional al reactor, contribuye a esto. (Galindo, 1996 y Asenjo, 1994)

1.3.3. Velocidad de cizallamiento constante

Este criterio mantiene constante la velocidad en los extremos de los agitadores. Muy usado en sistemas gas-líquido.

1.3.4. Número de Reynolds constante

El mismo trae como consecuencia una disminución drástica de casi todos los elementos que componen el sistema de agitación, por tanto deberán calcularse las consecuencias en el escalado, por haberse adoptado ese criterio.

1.4. Aceros inoxidables

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de cromo varía de 16 a 28%, el de níquel de 3.5 a 22% y el de molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc. (Romero *et al.*, 2005)



1.4.1. Propiedades del acero AISI 316

El material 316 posee mayor resistencia a la corrosión que el 304, no de una manera general, sino especialmente cuando se trata de una corrosión por picaduras. Los elementos que producen este tipo de corrosión son: flúor, cloro, bromo, y yodo, los cuales se denominan en términos químicos halógenos. El elemento más conocido de ellos es el cloro, presente en el mar, en ambientes marinos y en agua potable.

Para proteger al acero inoxidable de las acciones del cloro se introduce en la aleación el elemento molibdeno (Mo) en una proporción del 2% al 3 %. El molibdeno dentro del acero inoxidable forma compuestos químicos que protegen al material de la corrosión por picaduras, el material AISI 316 también se suele denominar como 18/8/2 refiriéndose al contenido de cromo/níquel/molibdeno (Gamboa y Alvarez, 2012).

1.4.2. Características químicas del acero AISI 316

El contenido de titanio del AISI 316

Las normas especifican que el contenido de titanio debe ser:

Mínimo: diez veces el contenido real de carbono sumado al contenido real de nitrógeno de dicha colada (este último a veces no viene en los certificados, por lo cual no se tiene en cuenta) se expresa así: $10(\%C+N)$.

Máximo: 0.7 % es pequeña si se compara con la de cromo 18% a 20% o la de níquel 8 a 11%. Pero es grande si se compara con la de carbono: 0.04 a 0.08%

1.5. Maceración

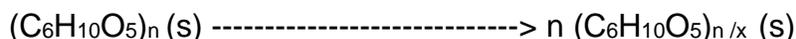
En la tecnología cervecera, existe una etapa fundamental en que se promueve la hidrólisis enzimática o conversión enzimática que es la maceración (Dragone *et al.*, 2002). Esta etapa empieza cuando el cereal molido que se utiliza como materia prima se mezcla con agua a una temperatura inicial de 45°C. Es necesario señalar que el inicio del proceso de maceración es la molienda de los granos malteados y otras operaciones destinadas a activar diversas enzimas que reducen las largas cadenas de almidones en otras más simples y fermentables. La maceración es la parte del proceso en la cual se



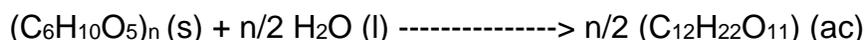
extraen de la malta y eventualmente de los granos crudos la mayor cantidad de extracto y de la mejor calidad posible en función al tipo de cerveza que se busca fabricar. La finalidad de la maceración es la conversión de los almidones de los cereales en sustancias más simples y susceptibles de ser solubles y fermentarse tales como el azúcar de malta y otros compuestos de baja masa molar (Gupta *et al.*, 2010).

Las amilasas desdoblan el almidón en dextrinas y maltosa principalmente, las enzimas proteolíticas desdoblan las proteínas complejas en materias nitrogenadas solubles, la fitasa desdobla la fitina en inositol y fosfato, etc. Estas transformaciones enzimáticas han sido ya empezadas durante el malteado a una regularidad mucho menos intensa de la que sucederá en el cocimiento; donde debido a la acción de las diferentes temperaturas y la gran cantidad de agua, las reacciones suceden muchas veces en forma explosiva (Lewis, 2006). Cuantitativamente el desdoblamiento del almidón en azúcares y dextrinas es el más importante. Para la fórmula general del almidón: $(C_6H_{10}O_5)_n$, las principales reacciones que ocurren durante el cocimiento por acción de las amilasas son:

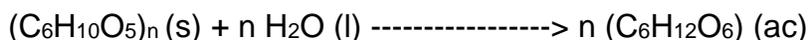
Formación de dextrinas:



Formación de maltosa:



Y en menor proporción formación de glucosa:



El almidón contiene dos polisacáridos diferentes, la amilosa y la amilopéctina. La amilosa está constituida por cadenas rectilíneas de glucosa con uniones α 1-4; la amilopéctina está constituida por cadenas ramificadas de uniones de glucosa en uniones α 1-4 y α 1-6 existiendo también uniones del tipo α 1-3. Para desdoblar el almidón se necesitan varias amilasas siendo las principales las α y β amilasas.

Según Carrillo (2003), cada kilogramo de malta molido tiene 760 gramos de extracto, que no es más que la cantidad de sólidos solubles que deben ser extraídos por kilogramo de malta, una vez terminada la maceración.



En la maceración se controla dos variables, tiempo y temperatura, manteniendo la agitación constante y un pH de trabajo para que las enzimas realicen su función. Si al mosto no se le ajusta el pH, la levadura que se inocule no encontrará las condiciones más adecuadas para llevar a cabo una fermentación eficiente y maximizar la producción de alcohol. Es de importancia destacar que en la fabricación de extracto, es necesario evaporar el exceso de agua hasta obtener concentraciones de 80% a partir de mosto de 10 a 15%, por lo tanto, un mosto inicial concentrado disminuye los costos de evaporación. (Silva, 2012).

1.6. *Moringa oleífera* como materia prima

1.6.1. Origen e historia de la *moringa oleífera*

El nombre científico del árbol de la moringa es *pterygosperma gaertne*, pertenece a la familia *moringaceae* y tiene su origen en la región noroeste de la India, al sur de la cordillera del Himalaya (Odee, 2012 y Ricardo, 2012). La *moringa oleífera* era muy estimada en el mundo antiguo. Los romanos, griegos y egipcios extrajeron el aceite comestible de las semillas y lo usaron para el perfume y las lociones superficiales. En siglo IX, las plantaciones de moringa en la India estaban dirigidas a la exportación de aceite a Europa para los perfumes y lubricante para las maquinarias. Las personas en la India han usado las vainas de moringa por mucho tiempo para alimentarse. Esta crece muy bien en la región tropical del continente americano, donde es conocida entre otros nombres como: Terebinto, Arango, Marango, Narango, Árbol de las Perlas, Chinto Borrego, Jacinto, Paraíso Blanco, San Jacinto, Perla de la India o Rábano Picante. En América Latina y Centro América el Marango se introdujo y naturalizó en 1920 como un árbol ornamental y fue utilizado como cerca viva y cortinas rompe vientos. Se reproduce por estacas o semillas (Fahey, 2005). Según Aberra *et al.*, (2011) este árbol es muy versátil, resistente a la sequía, se puede cultivar en climas cálidos, húmedos y lluviosos. Es un árbol de fácil crecimiento; sin embargo este crecimiento se ve afectado en las temperaturas frescas disminuyendo su velocidad.



Se cultiva mejor en el sol y no en la sombra. Las partes de la planta de mayor uso son las semillas y hojas. Las hojas de las plantas son las más usadas y las de un alto valor nutritivo (Fahey, 2005).

1.6.2. Especies del género

Moringa es un género de plantas con numerosas especies distribuidas por zonas áridas y semiáridas de Asia, África y Madagascar.

La especie más conocida es *moringa oleífera* y su principal utilidad es la de complemento alimenticio. La moringa se está revelando como un recurso de primer orden y bajo coste de producción para prevenir la desnutrición y múltiples patologías, como la ceguera infantil, asociadas a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta. Esta planta tiene un futuro prometedor en la industria dietética y como alimento proteico para deportistas especialmente atendiendo a su carácter de alimento natural. Otras ventajas añadidas son su gran velocidad de crecimiento, su facilidad de cultivo, su capacidad de aceptar grandes podas y su gran rusticidad (Soliva *et al.*, 2005).

1.6.3. Características y propiedades

Recientes estudios han concluido que el árbol tiene propiedades anti-inflamatorio, analgésico, antiasmático, anti-anemia, activador del metabolismo, purificador, protector del hígado, antihipertensivo, productor de hormonas, promueve el crecimiento del cabello, hidrata, moviliza los líquidos del cuerpo (homeostático), desintoxica, fortalece los músculos y huesos, mejora la alerta mental, la memoria y la capacidad de aprendizaje (Makkar y Becker 1996, Sánchez *et al.*, 2006, Melesse *et al.*, 2009, Melesse *et al.*, 2011). La *moringa oleífera* contiene vitamina A (Beta Caroteno), vitamina B1 (Tiamina), vitamina B2 (Riboflavina), vitamina B3 (Niacina), vitamina B6 (Piridoxina), vitamina B7 (Biotina), vitamina C (Ácido Ascórbico), vitamina D (Colecalciferol), vitamina E (Tocoferol) y vitamina K. Además de estas vitaminas la misma contiene minerales como son el calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc. Otras razones para beneficiarse con el consumo de la *moringa oleífera* es que: incrementa las defensas del cuerpo, proporciona los requerimientos para los ojos y el cerebro, proporciona los ingredientes biodisponibles en el metabolismo, controla naturalmente los niveles elevados de



colesterol sérico, reduce la aparición de arrugas y líneas finas, estimula el funcionamiento óptimo del hígado y el riñón, embellece la piel, proporciona energía y promueve la correcta digestión, actúa como antioxidante, estimula al sistema inmunológico del cuerpo, colabora para tener un sistema circulatorio saludable, produce una sensación de bienestar general sin recurrir a drogas o medicina alópata y controla los niveles de azúcar en la sangre (Moyo *et al.*, 2011).

A continuación se muestra la Tabla 1.1 donde se registran los valores de concentración de aminoácidos presentes en las hojas y vainas verdes de la planta. Como se aprecia, los valores más significativos son en las hojas del árbol. Estos aminoácidos son aquellos, los cuales el organismo no puede sintetizar y deben ser incorporados a la dieta del hombre.

Tabla 1.1. Concentración de aminoácidos presentes en las hojas y vaina verde de la *moringa oleífera* (g/kg materia seca) (Melesse *et al.*, 2011)

Aminoácidos Esenciales	Hojas	Vaina-Verde
Arginina	15.4	13.8
Cisteína	3.5	4
Isoleucina	77	4.75
Leucina	21	9.08
Lisina	13.2	5.28
Metionina	4.26	2.41
Fenilalanina	16.4	5.89
Treonina	12.9	5.31
Valina	14.2	5.96



1.6.4. Aplicaciones y usos de la *moringa oleífera*

Desde hace milenios, prácticamente todas las partes de *moringa oleífera* han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, las flores, los frutos y las raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal. Las hojas son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001).

También se emplean como forraje, biopesticida y para la producción de biogás (Fahey, 2005). Las semillas se utilizan en la alimentación, la medicina, el tratamiento de aguas y como fertilizantes (Foidl *et al.*, 2001). La corteza del tronco es útil en la adsorción de metales pesados (Reddy, Ramana, Seshaiyah y Reddy, 2011), así como para la fabricación de cuerdas y alfombras (Ramachandran, Peter y Gopalakrishnan, 1980). El aceite se usa en la industria de perfumería y en la de cosméticos como lubricante, en la alimentación humana y en la producción de biodiesel (Rashid, Anwar, Moser, y Knothe, 2008). Las cascarillas de las semillas sirven de materia prima para la producción de carbón activado y de intercambiadores aniónicos. La planta también se emplea como biomasa lignocelulosa del tronco y de las ramas puede ser utilizada como material de construcción y para producir pulpa celulósica y etanol (Fahey, 2005). Solo a finales del siglo XX este árbol empezó a recibir una atención merecida por parte de la comunidad científica. Durante las últimas dos décadas se han publicado numerosos reportes sobre la evaluación científica de los procesos de utilización de la planta, así como la identificación de principios activos y mecanismos de acción, lo que ha permitido explicar muchos de los efectos beneficiosos previamente conocidos, optimizar su explotación y proponer nuevas aplicaciones (Yang *et al.*, 2006).

Esta planta tiene diversos usos, fundamentalmente se emplea en la alimentación humana, animal y en la medicina. A continuación se muestran algunos ejemplos de ellos.

✓ Usos medicinales

Esta planta posee numerosas propiedades curativas y se utiliza en el tratamiento de diversas afecciones de la salud humana. Las raíces y la corteza del árbol son utilizadas en problemas cardiacos y de circulación sanguínea e inflamaciones. El aceite es usado



contra la histeria, problema de la próstata y presión de los vasos sanguíneos. El alto contenido de hierro que contienen las hojas es utilizado contra la anemia. Las flores en cocimiento son útiles para controlar problemas respiratorios en humanos (Zhao *et al.*, 2012).

✓ **Alimentación animal**

Las hojas de la *moringa oleífera* son fácilmente consumidas por los bovinos, ovejas, chivos, cerdos, pollos, conejos y también pueden usarse en la alimentación de peces. Muchos estudios han demostrado el significativo reemplazo de los forrajes tradicionales por las hojas de *moringa oleífera* (Ogbe *et al.*, 2011).

✓ **Fertilizantes**

Pruebas de laboratorio en Leicester, Inglaterra, confirmaron que la masa que queda después del tratamiento de la semilla para la extracción de aceite, es altamente valorada como fertilizante natural, con un gran contenido en nitrógeno y coagulantes activos. Esta masa se seca y se puede almacenar por largos períodos de tiempo, (Makkar y Becker, 2012).

✓ **Clarificador de agua**

En muchas partes del mundo el agua de los ríos es turbia, y se utiliza para el consumo humano. Esta turbidez es eliminada con productos químicos convencionales que implican grandes costos, sin embargo, los estudios demuestran que las semillas de *moringa oleífera* machacadas reducen la turbidez del agua cruda hasta un 80%, reduciendo el riesgo de muerte humana por consumir agua contaminada (Sengupta *et al.*, 2012).

✓ **Fuente de hormonas, promotoras del crecimiento vegetal**

Se puede obtener la hormona Zeatina a partir de extractos de las hojas y tallos jóvenes de la *moringa oleífera*, obtenidos a través de un proceso de trituración y extracción con etanol. Esta hormona promueve el crecimiento de las plantas de un 25-30%, tales como: soya, maíz, café, sorgo, cebolla, pimienta, chile, melón, etc (Makkar y Becker, 2012).



1.6.5. Aminoácidos esenciales presentes en la hoja de moringa y sus funciones en la salud humana (Melesse *et al.*, 2009)

- ✓ **Isoleucina/Leucina:** Proporciona los ingredientes para la fabricación de otros componentes bioquímicos esenciales en el cuerpo, algunas de las cuales se emplean en la producción de energía, estimulantes para el cerebro.
- ✓ **Lisina:** Participa en la absorción adecuada de calcio y ayuda a formar colágeno (lo que hace que el cartílago llegue hasta los huesos y tejidos conectivos). También ayuda en la producción de anticuerpos, hormonas y enzimas.
- ✓ **Arginina:** Mejora la respuesta inmune a las bacterias, virus y células tumorales, favorece la cicatrización y la regeneración del hígado, produce la liberación de hormonas del crecimiento y se considera crucial para el crecimiento óptimo del músculo y la reparación de tejidos.
- ✓ **Fenilalanina:** Es usado por el cerebro para producir norepinefrina, una sustancia química que transmite señales nerviosas al cerebro.
- ✓ **Treonina:** Ayuda a prevenir la acumulación de grasa en el hígado. Funciona como un depresivo y ayuda a mejorar la memoria.
- ✓ **Prolina:** es importante para el buen funcionamiento de las articulaciones y los tendones, además de que ayuda a mantener y fortalecer los músculos del corazón.
- ✓ **Metionina:** Es de todos los aminoácidos el principal proveedor de azufre, el cual evita trastornos del cabello y favorece el crecimiento del mismo, así como de uñas y la piel. Reduce los niveles de colesterol y reduce la grasa del hígado, además de que protege los riñones.
- ✓ **Histidina:** Se usa en el tratamiento de la artritis reumatoide, enfermedades alérgicas, úlceras y anemia.



- ✓ **Valina:** Forma parte integral del tejido muscular, puede ser usado para conseguir energía por los músculos en ejercitación, posibilita un balance de nitrógeno positivo e interviene en el metabolismo muscular y en la reparación de tejidos.
- ✓ **Triptófano:** Es esencial para promover la liberación del neurotransmisor serotonina, involucrado en la regulación del sueño y el placer. Por tanto tiene acción antidepresiva y tranquilizante.

1.7. La Piña

La *ananas comosus*, el ananá o piña, es una planta perenne de la familia de las *bromeliáceas*, nativa de América del Sur. Esta especie de escaso porte con hojas duras y lanceoladas de hasta un metro de largo fructifica una vez cada tres años produciendo un único fruto fragante y dulce, muy apreciado en gastronomía, siendo, de todos los procedentes de América Latina, el que más éxito tiene en Europa (Watt, 1962).

1.7.1. Usos más frecuentes

El fruto se aprecia para su consumo fresco y en conserva. En Occidente se usa habitualmente como postre, aunque cada vez más como ingrediente dulce en preparaciones de comida oriental. Cuando el *ananá* está maduro, la pulpa es firme pero flexible, las hojas se pueden arrancar de un fuerte tirón y el aroma es más intenso en la parte inferior. Debido al costo del transporte del fruto fresco y la concentración del consumo, se producen numerosos subproductos industrializados, en especial jugos y mermeladas. Del jugo se produce un vinagre excelente y muy aromático (Brien *et al.*, 2004). Entre las propiedades medicinales del mismo la más notable es la de la enzima proteolítica llamada bromelina, que ayuda a metabolizar los alimentos. Es también diurético, ligeramente antiséptico, desintoxicante, antiácido y vermífugo. Se ha estudiado su uso como auxiliar en el tratamiento de la artritis reumatoide, la ciática, y el control de la obesidad. Es rico en vitamina C y en fibra. La alta concentración de bromelina en la cáscara y otras partes permite su uso para aliviar infecciones laríngeas y faríngeas, así como en uso tópico para la cistitis y otras infecciones.

Las proteasas son enzimas que hidrolizan las cadenas polipeptídicas de las proteínas,



se caracterizan por tener gran variedad de especificidades. De acuerdo con el aminoácido o metal que posean en su sitio activo se clasifican en cuatro familias: serina-proteasas, aspártico-proteasas, cisteína-proteasas y metal-proteasas (Gacesa y Hubble, 1990).

1.7.2. La bromelina

Se obtiene del jugo, de la fruta o de los tallos de la piña (*ananas comosus*). Es una glicoproteína del grupo de las cisteína proteasas. Actúa de preferencia sobre los aminoácidos básicos y aromáticos de las proteínas. Su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8. Tiene baja tolerancia térmica. La enzima se utiliza principalmente como ablandador de carne (tiene buena actividad sobre los tendones y el tejido conectivo rico en elastina) y para hidrolizar proteínas solubles de la cerveza que pudieran precipitar y causar opacidad por el enfriamiento (Carrera, 2002).

El primer aislamiento de la bromelina fue expuesto por el químico venezolano Vicente Marcano en 1891 (Watt, 1962). En 1892, Chittenden junto a su asistente Joslin y Meara estudiaron la enzima con mayor profundidad y la llamaron bromelina. La bromelina está presente en todas las partes de la fruta pero la mayor concentración se encuentra en los tallos (Fitzhugh *et al.*, 2008).

La bromelina constituye una extraordinaria mezcla compleja de tiol-endopeptidasas y otros, los cuales no están caracterizados como fosfatasa, glucosidasas, peroxidasas, celulasas, glicoproteínas y carbohidratos, entre otros (Cooreman, 1978 y Rowan y Buttle, 1994). Además la bromelina contiene varios inhibidores de proteínas (Lenarcic, 1992 y Hatano, 1996).

1.7.3. Propiedades de la bromelina

La bromelina es un fermento digestivo comparable a la pepsina y la papaína. Antiinflamatorio, hipolipemiante, anti-agregante plaquetario. Diurético, vitamínico, de gran valor nutritivo. Agente de difusión, detergente de las llagas. Indicado para dispepsias hipo-secretoras, reumatismo, artritis, gota, arteriosclerosis, bronquitis,



enfisema, asma. Como uso tópico en la limpieza de heridas y ulceraciones tróficas. El corazón de la piña se ha preconizado como coadyuvante en regímenes de adelgazamiento, por su contenido en fibra, con acción de saciar y ligeramente laxante (Beuth, 2008).

1.8. Origen de la cerveza

El arte de la fabricación de cerveza se ha ido desarrollando en el transcurso de los milenios desde el origen de la humanidad. Debieron producirse varios descubrimientos independientes de que exponiendo al aire los extractos de cereales, se obtenían bebidas fermentadas. Pero este fenómeno no pudo ser explicado hasta el siglo XIX por Louis Pasteur, lo cual no impidió que fueran introduciendo sucesivas mejoras en las técnicas de elaboración. Existen ilustraciones de la elaboración de cerveza que pertenecen al apogeo de las civilizaciones egipcias y babilónica, de unos 4 300 años de antigüedad. Las bebidas alcohólicas resultaban particularmente atractivas para aquellos individuos de vida poco placentera, en cuanto que producían euforia alcohólica. Otras ventajas, que no eran apreciadas en aquellos tiempos, era la mejora relativa de la dudosa calidad microbiológica del agua, en virtud de su bajo pH y de su contenido alcohólico, y su valor nutritivo; además de su elevado valor calórico y de su riqueza en sustancias nitrogenadas asimilables. Si contenían levaduras, las bebidas en cuestión proporcionaban vitaminas del complejo B (Huogh, 2001).

La auténtica época dorada de la cerveza comienza a finales del siglo XVIII con la incorporación de la máquina de vapor a la industria cervecera y el descubrimiento de la nueva fórmula de producción en frío, y culmina en el último tercio del siglo XIX, con los hallazgos de Pasteur relativos al proceso de fermentación (Gupta, 2010).

1.8.1. La cerveza como bebida alcohólica

Tradicionalmente la calidad de esta bebida alcohólica se ha definido como el grado, con que un producto concreto satisface los deseos de un consumidor. Esta definición expone bien que esa satisfacción se consigue no solo con el producto en sí, sino que depende también de todo lo que acompaña al producto, precio, presentación, servicio, atenciones, etc (Dragone, 2002).



Según Gutiérrez (2002), existe otra definición de calidad, más restringida, el nivel de conformidad de un producto a su diseño o sus especificaciones. Esta calidad es de concordancia y es la que se puede generar y controlar dentro del proceso. Según Vehoref, (2003) la calidad está relacionada con una serie de parámetros que son:

✓ **El color**

Es determinado por las materias primas, especialmente la malta puesto que el color del mosto determina el color de la cerveza. Hay maltas claras y maltas oscuras. Pero también tienen influencia en el color el trabajo realizado en la sala de cocción o parte caliente del proceso, la composición del agua utilizada y las otras materias primas. La cepa de levadura también influye en el color final de la cerveza.

✓ **La espuma**

Toda cerveza debe tener una espuma estable. La formación de la espuma está determinada por el contenido de gas carbónico y fundamentalmente por la presencia de proteínas de baja masa molar.

✓ **Brillo y transparencia**

La cerveza debe ser clara y brillante. La turbidez en una cerveza puede deberse a deficiencias en la filtración, contaminación microbiológica por bacterias o levaduras salvajes, presencia de proteínas pesadas que no fueron retiradas durante el proceso, desgasificación o contaminación con oxígeno por fisuras en el tapado y reacciones fotoquímicas por exposición a la luz solar.

✓ **Contenido alcohólico y densidad o extracto**

El grado alcohólico, no debe ser alto sino moderado, el grado adecuado para una buena cerveza es de 4-5%. Depende de la gravedad original del mosto que es la cantidad de azúcares que se tiene al inicio de la fermentación.

El amargor, la acidez (pH) y el efecto del dióxido de carbono se consideran también como parámetros para medir la calidad de una cerveza. Por ello, para cada una de las cervezas



que se elabora, están establecidas normas que definen mejor cada tipo y señalan los valores, con la tolerancia, que cada uno debe alcanzar (Dragone, 2002).

1.8.2. La cerveza y su proceso productivo

La cerveza es una bebida alcohólica elaborada por la fermentación, no destilación, de soluciones acuosas obtenidas de cereales malteados y otros granos que contienen almidón ([Anexo 2](#)). La mayor parte de las cervezas se elaboran con cebada malteada a la que se da sabor con lúpulo (Fernández *et al.*, 2001).

1.8.3. Características de la cerveza

García, (2001) refiere que la cerveza posee las siguientes características:

- ✓ La cerveza es una bebida de bajo contenido alcohólico resultante de fermentar mediante levadura seleccionada, el mosto elaborado con malta de cebada, arroz, maíz, lúpulo y agua. Así por ejemplo, el grano de cebada por su valor energético (carbohidratos) y por su contenido de proteínas y sales (fosfatos).
- ✓ En promedio, cada 100 g de cerveza se consumen 46 kcal. Es decir que una jarra de cerveza de 300 ml contiene aproximadamente 150 kcal.
- ✓ Siendo su composición de un 94% promedio de agua.

1.8.4. Cerveza a base de diferentes aditivos

Son cuatro los elementos fundamentales para producir cerveza: agua, cebada, lúpulo y levadura. Actualmente, con excepción de Alemania, cereales como arroz y el trigo también son utilizados en sustitución parcial de la cebada (SINDCERV, 2008).

El proceso tradicional de producción de cerveza se puede realizar debido a operaciones especiales: malteado, maceración (tratamiento enzimático), filtración, fermentación y carbonatación (Venturini *et al.*, 2005).



1.9. Importancia de la presencia del lúpulo en la cerveza

El lúpulo (*Humulus lupulus L.*) se emplea para aromatizar la cerveza y obtener el característico sabor amargo de la bebida. Pertenece a la familia de las cannabáceas, plantas herbáceas carentes de látex, de flores menudas. Planta medicinal silvestre conocida ya en la antigüedad, unos 6.000 años a.C., el lúpulo se utiliza desde el siglo IX para la obtención de “lupulino”, empleado en la fabricación de cerveza. El lúpulo, además de contribuir a la estabilidad de la espuma, aromatiza y tiene propiedades antisépticas. Las cervezas lupuladas son más resistentes al deterioro microbiológico. En el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia se define esta materia prima de la cerveza como una planta trepadora, muy común en varias partes de España, de la familia de las *cannabáceas*, con tallos sarmentosos de tres a cinco metros de largo, hojas parecidas a las de la vid, flores masculinas en racimo, y las femeninas en cabezuela, y fruto en forma de piña globosa cuyas escamas cubren dos aquenios rodeados de lupulino. Los frutos desecados, se emplean para aromatizar y proporcionar el sabor amargo a la cerveza. En el lúpulo se han identificado más de 1000 sustancias entre las que se encuentran múltiples derivados isoméricos (Verzele y Keukeleire, 1991).

Todas ellas aportan al lúpulo sus peculiares características que lo convierten en insustituible para la fabricación de la cerveza. Las resinas son almacenadas en glándulas de lupulina presentes en varias partes de la planta, pero fundamentalmente en los frutos producidos a partir de las flores femeninas. Estas resinas se clasifican en función de su diferente solubilidad y son una mezcla de compuestos químicos análogos que son los precursores de los alfa y beta ácidos, los cuales al cocer con el mosto se isomerizan y se transforman en sustancias amargas (Ameen *et al.*, 2004).

El contenido de alfa y beta ácidos es una característica varietal, si bien pueden verse influidos de una manera importante por la climatología y otros factores. Otros constituyentes importantes son los aceites esenciales y los taninos. Los primeros confieren al lúpulo su aroma característico. Tradicionalmente se ha hablado de variedades aromáticas y de variedades amargas, precisamente en función del nivel de alfa ácidos y de aceites esenciales (Alvarado *et al.*, 2006).



La variedad y el frescor del lúpulo influyen muy sensiblemente en la calidad final de la cerveza. A lo largo de los últimos cuarenta años, se ha producido una rápida proliferación de diversos tipos de productos derivados del lúpulo o de formas de procesar el mismo, ofreciendo al cervecero diversas ventajas, tanto económicas como relacionadas con la calidad, en comparación con el uso del lúpulo tal cual, lo que ha contribuido a que ahora se pueda controlar de forma más efectiva que nunca, la contribución del lúpulo sobre el aroma, el amargor, la espuma y la estabilidad frente a luz de la cerveza (Cerveza, 2006).

1.9.1. Usos tradicionales

Tradicionalmente, el lúpulo se ha usado como hipnótico, sedante y diurético (Font-Quer, 1983). En la Inglaterra medieval, se rellenaban las almohadas con conos de la planta como remedio contra el insomnio. Santa Hildegarda, le atribuía virtudes contra la “bilis negra” o melancolía. Sin embargo, en la medicina antigua se ignoraba su utilidad (no lo citan ni Galeno ni Dioscórides) aunque Plinio se refiere brevemente a ella considerándola una planta alimenticia (cuyo nombre era lupus). En algunas comarcas españolas, los vástagos tiernos se han consumido de forma similar a la de los espárragos.

En 1516 el duque bávaro Guillermo IV aprobó la famosa "Reinheitsgebot" o "Ley de pureza" de la cerveza, que limitaba los ingredientes permitidos en su elaboración a tres: cebada, lúpulo y agua. Esta ley continúa aún vigente, con escasas modificaciones, en toda Alemania; lo que nos da una idea de la importancia del lúpulo en la elaboración de la cerveza desde hace siglos (Gupta, 2010).

1.10. Las levaduras en la cerveza

La levadura es el microorganismo que transforma a los azúcares fermentables contenidos en el mosto produciendo como subproductos alcohol etílico y dióxido de carbono bajo condiciones de ausencia de oxígeno. Si existe oxígeno en el mosto, la levadura lo consume para multiplicarse produciendo entonces mayores cantidades de biomasa (Mesones, 2007).

Las características de sabor y aroma de cualquier cerveza están determinada de forma preponderada por el tipo de levadura utilizada (Weiss, 2003).



1.10.1. Tipos de levaduras cerveceras

Las diferencias existentes entre la estructura química de las capas exteriores de las células de las levaduras son las responsables de que algunas cepas suban a la superficie al final del proceso fermentativo. Estas levaduras altas contrastan con las bajas, que se hunden y tienden a depositarse en la base del fermentador. La distinción puede simularse en agua; las levaduras altas tienden a ser algo hidrófobas y a reunirse en el menisco, lo que no hacen las bajas. En las fermentaciones tradicionales, cada uno de estos tipos de levadura exige procesos algo distintos (Hough, 1982).

1.10.2. Clasificación de las levaduras cerveceras

En la cervecería las levaduras se subdividen en 2 especies: las de alta fermentación tipo Ale y baja fermentación tipo Lager.

- ✓ Las Ale son las más utilizadas por los cerveceros artesanales; poseen la característica de fermentar en la parte superior del mosto formando la típica espuma y producen cervezas con toques afrutados y con mayor cuerpo. La temperatura óptima de fermentación está entre 17-22°C y el tiempo de fermentación entre los 3 y los 5 días. Es importante seguir todas las indicaciones del fabricante de la levadura para conseguir una excelente fermentación (Sambrook y Pamela, 2006).
- ✓ Las Lager fermentan en la base del recipiente y dan, entre otras, las típicas cervezas Pilsen (el nombre Pilsner denota a una ciudad de la República Checa y a la cerveza marca "Pilsner-Urquel"). Estas cervezas tienen menos cuerpo que las Ale y son más cristalinas. La temperatura de fermentación está entre los 9-15°C. Es importante seguir todas las indicaciones del fabricante de la levadura para conseguir una excelente fermentación.

La levadura confiere características y atributos típicos; por ejemplo, si un mosto fuera dividido en dos partes iguales y al primero se agregara una levadura diferente que al segundo, seguro se obtendrían dos cervezas completamente diferentes (Guinjoan, 2009).



1.11. El agua en la industria cervecera

El agua, por la cantidad, es la principal materia prima en el proceso cervecero, pues aproximadamente del 92 al 95% del peso de la cerveza está constituido por agua. Por este motivo, las industrias cerveceras se localizan en regiones donde la composición de agua es relativamente uniforme y de buena calidad. En la naturaleza toda el agua contiene sales disueltas, variando el contenido de acuerdo a la región. Si la cantidad fuera alta, el agua tendría un gusto de acuerdo al contenido de sales. Además de eso las aguas naturales pueden poseer materia orgánica y compuestos gaseosos, que le pueden conferir aroma y sabor característico, influenciando directamente en los procesos químicos y enzimáticos que ocurren durante la fermentación y consecuentemente en la calidad de la cerveza producida. Si el agua no fuera de la calidad requerida o no presentara la composición química adecuada entonces podrá ser tratada por diferentes procesos de purificación (ASBC, 1996).

Los parámetros básicos para obtener un agua cervecera de calidad son:

- ✓ Potabilización
- ✓ Alcalinidad de 50 mg/l o menor (preferentemente inferior a los 25 mg/l)
- ✓ Concentración de calcio ~ 50 mg/l

Algunas recetas cerveceras requieren de agua de baja mineralización, otras necesitan aguas duras con mucha cal. Casi todas las cervecerías tratan las aguas de manera que siempre tenga las mismas características para una misma receta de cerveza. Entre los minerales del agua que más interesan a los cerveceros están el calcio, los sulfatos y los cloruros. El calcio aumenta la extracción tanto de la malta como del lúpulo en la maceración y en la cocción y rebaja el color y la translucidez de la cerveza. En la maceración protege la α -amilasa contra la destrucción térmica, estimula la acción de las amilasas y las proteasas; y ayuda a obtener el debido pH en la mezcla. Los sulfatos refuerzan el amargor y la sequedad del lúpulo. Los cloruros dan una textura más llena y refuerzan la dulzura. El magnesio actúa como coenzima en la fermentación (ASBC, 1996).



Conclusiones parciales del capítulo

1. Dentro de los métodos de escalado, por su porcentaje de uso, el de similitud mecánica es el más empleado y se ajusta a los requerimientos de la problemática planteada.
2. Debido a las propiedades físico-químicas y su disponibilidad, el acero inoxidable AISI 316 es el material seleccionado para la construcción del reactor.
3. La maceración es una de las etapas más importante en la producción de cerveza ya que permite extraer los componentes nutricionales de las materias primas.
4. La *moringa oleífera* por su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales constituye la materia prima fundamental de la etapa de maceración.
5. La bromelina es la enzima seleccionada para hidrolizar las proteínas en las hojas de la *moringa oleífera*.



Capítulo 2. Materiales y métodos

El trabajo experimental se llevó a cabo en la Planta de Bebidas de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas. Se utilizó la línea de fabricación de cerveza de dicha planta, ya que el trabajo de investigación está encaminado al escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación con el objetivo hidrolizar las proteínas presentes en las hojas de la *moringa oleífera* mediante la acción enzimática.

El equipo principal de esa etapa lo constituyó el macerador para las corridas experimentales con las características siguientes: tanque cilíndrico de acero inoxidable, con agitador de paletas colocado de forma concéntrica acoplado a un motor eléctrico y un sistema de calentamiento constituido por una termoresistencia.

2.1. Selección del material de construcción del reactor

Para la selección del material se tuvo en cuenta las temperaturas de trabajo, las sustancias a las que estará expuesto el material y las presiones a las que será sometido. Las temperaturas de trabajo oscilan en un rango de 25°C a 100°C. Las sustancias involucradas son: agua desmineralizada y potable, polvo de hojas de *moringa oleífera* y pulpa de piña. Las presiones de trabajo oscilan entre 1 y 1.2 atm y el pH 5-7. Debido a las propiedades físico-químicas y su disponibilidad, el acero inoxidable AISI 316 es el material seleccionado para la construcción del reactor.

2.2. Materias primas

2.2.1. *Moringa oleífera*

Las hojas de *moringa oleífera* recolectadas en zonas agrícolas de la provincia de Matanzas, fueron cortadas, trituradas y secadas en estufa a 50°C durante 48h. Posteriormente, el material seco fue tamizado en zaranda vibratoria (VEB MLW Labortechnik ILMENAU IHVR-2, Alemania) para obtener un tamaño de partícula menor de 500 μm , la cual se utilizó en los experimentos para su posterior análisis. La misma fue homogenizada para garantizar una composición idéntica en todas las alícuotas del material, y conservadas en bolsas plásticas con el objetivo de mantener una humedad constante de 5%.



2.2.2. Fruto de piña (*ananas comosus*)

La piña utilizada proviene de los centros de acopio que tienen convenios con la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” (UMCC). Esta fue previamente lavada y molida en una licuadora (Hamilton Beach Brands, Inc. Commercial Blender Type GB22 Model HBB250SR, China) donde solo se desechó la corona por su alto contenido de fibras. Posteriormente se almacenó en el congelador, a una temperatura entre 1 y 2°C para su conservación temporal.

2.3. Determinación de la humedad

La determinación de la humedad fue realizada por lo planteado en el “*Standard Method for Determination of Total Solids in Biomass*” de los NREL. Procedimiento analítico de laboratorio 001 (Sluiter *et al.*, 2008). Este Método Standard se basa en el análisis gravimétrico por volatilización indirecta.

Sobre la base de este método se sigue el siguiente procedimiento: se pesó exactamente 1.0000g de la muestra, la cual fue colocada en estufa a 105°C (AISET® YLD-6000 P\G2007ba, R.P. China), se pesó nuevamente y se repitió la operación hasta obtener un peso constante (hasta que en dos pesadas consecutivas se obtuvo diferencias de no más de 0.2mg). Posteriormente se enfrió en la desecadora con cloruro de calcio anhidro y silicagel y se pesó en una balanza analítica digital (Sartorius BS 124 S. Max 120g, con una precisión de 0.1mg, China). El contenido de humedad se determinó mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{MRMH - MRMS}{MRMH - MRS} \quad \text{ec. 2.1}$$

Dónde:

H: humedad.

MRMH: masa del recipiente con la muestra húmeda

MRMS: masa del recipiente con la muestra seca

MRS: masa del recipiente seco



2.4. Metodología para determinar los grados (°Bx)

La escala brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en el zumo de frutas, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. Para las bebidas, un grado brix indica 1g de azúcar disuelto en 100ml de solución a 15°C. Ya que los grados brix se relacionan con la concentración de los sólidos disueltos, sobre todo sacarosa en un líquido y tienen que ver con la gravedad específica del líquido. Esta determinación está calibrada a 15°C (Molina, 1989). Para las mediciones del brix se empleó un refractómetro de Abbe.

2.5. Metodología para la medición del pH

El pH es un parámetro fundamental en la hidrólisis enzimática pues según Santos (2009), el pH óptimo de trabajo de la enzima bromelina se encuentra entre 5 y 7 en un rango de temperatura de 50-55°C. La medición del pH se realizó por el método potenciométrico y según la norma NMX-AA-25. Utilizándose el pH metro HI 2210 HANNA con electrodo de vidrio combinado y para su calibración se utilizaron las disoluciones buffer de pH (4; 7; 9).

2.6. Metodología para el diseño de experimento

La hidrólisis enzimática de las hojas de la *moringa oleífera* se realizó empleando la enzima bromelina aplicando un diseño de experimento de superficie respuesta Box-Behnken, los factores con sus niveles corresponden al tiempo (0-60min), masa de moringa (0-50g) y velocidad de agitación (0-300rpm). Como variable respuesta se declaró los °Bx y como variables fijas: temperatura (50°C), volumen de enzima (70ml) y volumen total (2000ml). Estos experimentos fueron procesados estadísticamente por el software *STATGRAPHICS Plus versión 5.0 para Windows*.



2.7. Metodología para determinar proteína cruda en las hojas de la *moringa oleífera* (ASBC, 1996)

La determinación de proteína cruda se realizó por el método de Kjeldahl, mediante el cual se cuantifica el contenido de nitrógeno presente en la muestra, posteriormente el valor se afecta por un factor en función de la naturaleza de la muestra tomada.

2.7.1. Material y equipo

- ✓ Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg.
- ✓ Equipo Kjeldahl
- ✓ Manto calefactor
- ✓ pH metro
- ✓ Material usual de laboratorio.

2.7.2. Reactivos

- ✓ Ácido sulfúrico concentrado, p.a.
- ✓ Sulfato de potasio o sulfato de sodio, p.a.
- ✓ Sulfato cúprico, p.a.
- ✓ Solución de hidróxido de sodio al 15% (se disolvió 150g de hidróxido de sodio y se completó hasta 1 litro).
- ✓ Solución de ácido sulfúrico 0.1N (se tomó 2.7ml de ácido sulfúrico concentrado y se completó a 1 litro, luego se estandarizó con carbonato de sodio anhidro p.a.
- ✓ Solución de hidróxido de sodio al 30% (se disolvió 300g de hidróxido de sodio y se completó hasta 1 litro).
- ✓ Solución indicadora de rojo de metilo al 1% en etanol. (Se disolvió 1g de rojo de metilo en 100ml de etanol (95%)).
- ✓ Solución de hidróxido de sodio 0.1N. Se tomó 4g de hidróxido de sodio y se enrasó a 1 litro con agua recientemente hervida y enfriada. (Se valoró con ácido succínico).
- ✓ Ácido bórico al 3%. (Se disolvió 30g de ácido bórico y se completó a 1 litro).
- ✓ Indicador de Tashiro: rojo de metilo al 0.1% y azul de metileno al 0.1% en relación de 2:1, en alcohol etílico.



- ✓ Solución de ácido clorhídrico 0.1N. (Se tomó 8.3ml de ácido clorhídrico concentrado y se enrasó a 1 litro. Se valoró con carbonato de sodio anhidro).

2.7.3. Procedimiento

1. Se realizó la muestra por duplicado.
2. Se efectuó un ensayo en blanco usando una sustancia orgánica sin nitrógeno (sacarosa) que sea capaz de provocar la reducción de los derivados nítricos y nitrosos eventualmente presentes en los reactivos.
3. Se pesó 1.000g de muestra homogeneizada en un matraz de digestión Kjeldahl.
4. Se agregó 3 perlas de vidrio, 10g de sulfato de potasio o sulfato de sodio (0.5g de sulfato cúprico y 20ml de ácido sulfúrico concentrado).
5. Se conectó el matraz a la trampa de absorción que contiene 250ml de hidróxido de sodio al 15%. El disco poroso produjo la división de los humos en finas burbujas con el fin de facilitar la absorción y que tenga una duración prolongada, limpiándolo antes de usarlo. Los depósitos de sulfito sódico se eliminan con ácido clorhídrico.
6. Cuando la solución de hidróxido de sodio al 15% adicionada de fenolftaleína contenida en la trampa de absorción permanece incolora debe ser cambiada (aproximadamente cada 3 análisis).
7. Se calentó en manta calefactora, hasta cambio de color y se dejó en ebullición de 15 a 20min más. La muestra comenzó a formar espuma y se le agregó ácido esteárico para comenzar el calentamiento lentamente.
8. Se enfrió y agregó 200ml de agua.
9. Se conectó el matraz al aparato de destilación, agregando lentamente 100mL de hidróxido de sodio al 30% por el embudo.
10. Se destiló no menos de 150ml en un matraz que llevo sumergido el extremo del refrigerante o tubo colector en:
 - a) 50ml de una solución de ácido sulfúrico 0.1N, 4 a 5 gotas de rojo de metilo y 50ml de agua destilada. Asegurar un exceso de ácido sulfúrico para que se pueda realizar la retro titulación. Titular el exceso de ácido con hidróxido de sodio 0.1N hasta color amarillo.



b) 50 ml de ácido bórico al 3%. Titular con ácido clorhídrico 0.1N hasta pH 4.6 mediante un medidor de pH calibrado con soluciones tampón pH 4 y pH 7, o en presencia del indicador de Tashiro hasta pH 4.6.

11. Cada cierto tiempo se necesitó verificar la hermeticidad del equipo de destilación usando 10ml de una solución de sulfato de amonio 0.1N (6.6077g/l), 100 ml de agua destilada y 1 a 2 gotas de hidróxido de sodio al 30 % para liberar el amoníaco, así como también se verificó la recuperación, destruyendo la materia orgánica de 0.25g de L-Tirosina. El contenido teórico en nitrógeno de este producto es de 7.73%. Debe recuperarse un 99.7%.

Cálculo y expresión de resultados

$$\% N = \frac{14 N V 100}{m 100} \quad \text{ec. 2.2}$$

$$\% \text{ Proteína} = \frac{14 N V 100 \text{ Factor}}{m 100} \quad \text{ec. 2.3}$$

Donde:

V: 50 ml ácido sulfúrico 0.1 N – gasto de hidróxido de sodio 0.1 N o gasto de ácido clorhídrico 0.1 N

m: masa de la muestra, en gramos

Factor:

6.25: para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general

5.7: para cereales y derivados de soya

6.38: leche

5.55: gelatina

5.95: arroz



2.8. Metodología para la determinación del contenido de aminoácidos en las hojas de la *moringa oleífera*

2.8.1. Hidrólisis de la muestra

Se tomaron 0.5g de la muestra molida, se le añadió 50ml de ácido sulfúrico al 30% y se mantuvo a 110°C por espacio de 22h. Después de terminada la hidrólisis se completó el volumen con agua desmineralizada hasta 100ml.

2.8.2. Tratamiento de la muestra

Se tomaron 2ml del hidrolizado y se neutralizaron con hidróxido de sodio al 2M y se completó el volumen con agua desmineralizada hasta 50ml.

La solución obtenida se usó para un procedimiento de derivatización con previo análisis en un Cromatógrafo Líquido de Alta Presión (HPLC, siglas en inglés).

2.8.3. Condiciones del análisis con HPLC

Analizador: Waters 2695 Alliance chromatography system

Columna: AccQ Tag Amino Acid Analysis (4 um Nova-Pak C18; 3.9 mm x 150 mm), 37°C

Detección: fluorescencia (Ex: 250nm, Em: 395nm)

Fase móvil: mezcla de buffer acetato / acetonitrilo / agua desmineralizada, gradiente elución, 1 ml/min

Muestra: inyección de 10 ul

Tiempo de análisis: 45 min

2.9. Obtención de los principales parámetros de operación y escalado de un reactor a escala banco

El escalado de los reactores para la hidrólisis enzimática se realiza con el objetivo de estudiar cómo se comportan los resultados obtenidos en el laboratorio, en un reactor a escala de banco que es morfológica y operacionalmente semejante al reactor industrial. Con las dimensiones obtenidas del reactor de capacidad de 0.1m³ se procederá al dimensionamiento del reactor de 0.0025m³.



Se desea llevar a escala banco un reactor (prototipo) para la etapa de hidrólisis enzimáticas, tomando como modelo el reactor a escala de planta piloto. Para ello, de acuerdo a Duncan y Reimer (1998); Coker (2001); Zlokarnik (2006) y Nauman (2008), se toma como referencia la semejanza de las características geométricas, el principio de operación y los materiales de construcción entre el reactor que sirve como modelo (planta piloto) de 0.1m³ y el reactor banco de 0.0025m³ (prototipo).

El escalado de reactores de tanque agitado se basa usualmente en la semejanza geométrica, donde se ignoran las posibles diferencias de densidades entre los reactores definidos como modelo y prototipo. De esta manera, se define un factor de escala simple, S, para el volumen y la capacidad de producción, pero los tanques agitados mecánicamente tienen un factor de escala adicional, S_N, que es la razón de las velocidades de agitación entre el prototipo y el modelo. Comúnmente, la velocidad de agitación del prototipo crece con respecto a la del modelo, por lo que S_N>1 (Nauman, 2008).

Las relaciones de escalado son significativamente simples cuando se escala con semejanza geométrica y cuando el régimen de flujo del reactor de menor escala es completamente turbulento. El número de Reynolds para reactores agitados mecánicamente se define por la ecuación 2.4.

$$Re = \frac{\rho \eta_i d_a^2}{\mu} \quad \text{ec. 2.4}$$

Donde n_i es la velocidad de agitación del impelente en revoluciones por segundo y d_a es el diámetro del impelente. El régimen de transición de laminar a turbulento ocurre cuando $Re \approx 100$ y el régimen turbulento ocurre cuando $Re \geq 1\ 000$. Esto se cumple para



agitadores de turbina y paletas. La mayoría de los reactores agitados a escala industrial operan en régimen turbulento completamente desarrollado.

El problema más común en el escalado de reactores de tanque agitado es la dificultad de mantener la temperatura de operación deseada. Por eso, generalmente la transferencia de calor resulta la razón de cambio en este tipo de reactores (Nauman, 2008).

La correlación de Nusselt aplicable para reactores con agitadores de turbina, paleta y propela es:

$$Nu = \left(\frac{h d_a}{k} \right) = C \left(\frac{d_a^2 n_i \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad \text{ec. 2.5}$$

Donde k es la conductividad térmica y h es el coeficiente pelicular de transferencia de calor. El valor exacto de C se necesita para cálculos detallados de diseño, pero para el análisis de escalado se puede tomar como $C \approx 0,5$ para agitadores de turbina, paleta y propela. Para el escalado, si se mantienen las propiedades físicas constantes, la ecuación de Nusselt (2.5) para la relación entre prototipo y modelo queda:

$$\frac{(h d_a)_p}{(h d_a)_M} = \left[\frac{(d_a^2 n)_p}{(d_a^2 n)_M} \right]^{2/3} \quad \text{ec. 2.6}$$

Para el escalado del reactor, el factor de escala referido a la relación entre los volúmenes (S) es muy grande, por lo que se debe obtener el factor de escala utilizando como criterio una de sus dimensiones lineales.

Como se conoce el volumen del reactor industrial de la planta demostrativa, se puede determinar el diámetro del reactor prototipo. El factor de escala (S) para este proceso será entonces la relación entre los diámetros del prototipo y el modelo.



Si se asume similitud geométrica y recordando que d_i escala como S, la ecuación 2.6 queda:

$$\frac{h_p}{h_m} = S^{1/3} S_N^{2/3} \tag{ec. 2.7}$$

Donde los subíndices m y p se refieren al modelo o reactor de escala planta piloto y al prototipo o reactor a escala banco, respectivamente.

Si se considera lo anterior, y teniendo en cuenta que la mayoría de los reactores agitados se escalan para que la relación entre la potencia y el volumen permanezca constante, en la tabla 2.1 se define cómo se afectan los principales parámetros de operación y diseño con el cambio de escala (Nauman, 2008).

Tabla 2.1. Factor de escala para los principales parámetros de operación y diseño de los reactores

Parámetros	Factor de escala
D	S
Da	S
V	S ³
Re	S ^{4/3}
Fr	S ^{-1/3}
n	S ^{-2/3}
P	1
A _{TC}	S ²
h _i	S ^{-1/9}



Tabla 2.2 Dimensionado del modelo a escalar

Dimensiones	Valores	Unidades
D_{tm}	0.06	m
V_m	2.5	m^3
n_m	100	rpm
P_m	0.15	kw
D_{am}	0.047	m^3
E_m	0.01	m^3
L_m	0.023	m^3
W_m	0.010	m^3
H_m	0.057	m^3
H_{0m}	0.03	m^3
J_m	0.010	m^3
D_{tm}/D_{am}	1.27	
E_m/D_{am}	0.21	
L_m/D_{am}	0.5	
W_m/D_{am}	0.22	
J_m/D_{tm}	0.16	
H_m/D_{tm}	0.95	
H_{0m}/H_m	0.05	

2.10. ANSYS

Existen múltiples programas que permiten realizar el análisis estructural de mecanismos y grandes estructuras, empleando métodos numéricos, sobresaliendo el ANSYS como uno de los más versátiles. ANSYS es un software de simulación ingenieril desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. Está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Este programa puede ser empleado tanto para la solución de problemas ingenieriles, como para la modelación de diversos fenómenos físicos entre los que sobresalen: análisis de estructuras



dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluido-dinámica, problemas de acústicos y de electromagnetismo. Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado para resolver problemas de ingeniería civil, mecánica y eléctrica, física y química. Las principales desventajas de ANSYS radican en la obtención de soluciones aproximadas, cuyo nivel de error depende fundamentalmente de la experiencia que tenga el usuario sobre el fenómeno el cual simula. No obstante, existe una gran variedad de problemas que resultan muy complejos de resolver a través de técnicas analíticas convencionales, o que obligan a realizar asunciones que hacen que este método de simulación sea más eficaz. Por otra parte, es una ventaja fundamental el ahorro de recursos y de tiempo que el mismo trae consigo.

2.11. Metodología para la simulación en ANSYS ([Anexo 3](#))

2.11.1. Pre-proceso

Para la simulación en ANSYS se empleó un análisis estructural estático, con carga lineal de un reactor encaquetado con agitación, para determinar las tensiones generadas en las paredes del equipo y un análisis de transferencia de calor para determinar la distribución de temperaturas y el flujo de calor en el mismo.

El tipo de elemento empleado en el análisis térmico es el Plane55, el cual se recomienda para realizar análisis térmico en estado estacionario o transiente (dinámico). El Plane55 es un elemento cuadrangular, compuesto por 4 nodos, con comportamiento lineal y adecuado para modelar mallas regulares. El elemento está definido por 4 nodos con un grado de libertad en cada nodo: la temperatura.

Para el análisis estructural se empleó el elemento Plane42 el cual es un elemento cuadrangular de 4 nodos con dos grado de libertad por nodo: desplazamiento en x; y. Presenta además capacidad de plasticidad, elasticidad, grandes deflexiones y grandes deformaciones. Los datos de entrada del elemento incluyen propiedades del material orto-trópicas o aniso-trópicas.



2.11.2. Propiedades del material

El material que compone el reactor es el acero AISI 316, cuyas propiedades químicas se muestran en la tabla 2.3

Tabla 2.3. Propiedades químicas del AISI 316 (%) (Dionicio, 1999)

Elementos	Cromo	Níquel	Carbón	Manganeso	Silicio	Fosforo	Azufre
Acero AISI 316	16-18	10.-14	0.08	2.0	1.0	0.045	0.3

Para el análisis estructural se considera un material cuyas propiedades son lineales, elásticas e isotrópicas. Las propiedades introducidas en ANSYS son el Módulo de Young 200000MPa y el coeficiente de Poisson 0.3, mientras que en el análisis térmico se introdujeron las propiedades en función de la temperatura, según se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Conductividad térmica del AISI 316 en función de la temperatura (Holman, 1999)

Temperatura (°C)	Conductividad Térmica (W/m°C)
0	0.556
10	0.585
21.11	0.604
32.22	0.623
43.33	0.644
54.44	0.649



Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W/m°C)
65.55	0.659
66.67	0.668
87.78	0.675
104.4	0.684
126.7	0.685
148.9	0.684
176	0.677
204.4	0.665

2.11.3. Mallado

Se realizó un mallado compuesto por elementos cuadrangulares lineales empleando una densidad de mallado con elementos de tamaño 10mm en las zonas donde se requiere menor exactitud y tamaño 5 mm donde se requiere mayor exactitud. ([Anexo 4](#))

2.11.4. Análisis térmico

Como condiciones de frontera fueron establecidas en el análisis térmico el calor aportado por la resistencia eléctrica de 750 W, la transferencia de calor por convección con un coeficiente de 2000 W/m²°C el cual es apropiado para líquidos que cambian a fase gaseosa (lo cual se consideró para las sustancias que actúan en el interior del equipo), así como un coeficiente de 15 W/m²°C para la transferencia de calor entre las paredes del equipo y el aire. Se consideró además la transferencia de calor por conducción entre las diferentes partes del equipo y la radiación desde las sustancias que se evaporan.



Capítulo 3. Análisis de los Resultados

3.1. Obtención de los principales parámetros de operación y escalado de un reactor a escala banco

La aplicación del método de similitud para el escalado de un reactor enchaquetado con agitación arrojó como resultado el dimensionado del equipo (Tabla 3.1). Es importante destacar que el valor del factor de escala obtenido de 4.29 es aceptado según lo planteado González (2005) para reactores enchaquetados con agitación.

Tabla 3.1. Dimensionado del reactor prototipo

Elementos	Valor Numérico	Unidades
D_p	0.14	m
h_p	0.13	m
V_p	2.51	m^3
n_p	37.90	rpm
D_{ap}	0.1	m
P_p	0.09	W
A_{tcp}	0.02	m^2
h_{ip}	775.84	W/m^2K
Re_p	4.24E+05	
Fr_p	0.06	
E_p	0.03	m
L_p	0.05	m
W_p	0.05	m
h_{op}	0.03	m
J_p	0.03	m
S	4.29	



3.2. Hidrólisis enzimática de las hojas de la *moringa oleífera*

La hidrólisis enzimática de las proteínas presentes en las hojas de la *moringa oleífera* fue realizada mediante un diseño de experimentos Box-Behnken (epígrafe 2.5). El propósito perseguido con este diseño es obtener un modelo matemático para cuantificar la acción proteolítica de la bromelina sobre las hojas de la *moringa oleífera*. La aplicación fundamental de esta experimentación es proveer de una fuente rica en compuestos nutricionales (aminoácidos, carbohidratos, vitaminas y minerales) a las levaduras para la etapa de fermentación alcohólica. Los resultados se muestran en la tabla 3.2. Este análisis puede contribuir a la incorporación paulatina de esta materia prima en la industria de bebidas fermentadas. Como se puede apreciar en los experimentos 1, 9, 12 y 13, el contenido de sólidos disueltos ($^{\circ}\text{Bx}$) es prácticamente nulo, correspondiéndose con la no adición del polvo de las hojas de moringa. En el caso de los experimentos 4, 7 y 14, se puede apreciar que los valores alcanzados son los mayores, con respecto al resto, justificándose por la adecuada acción de las enzimas (bromelina) a las condiciones propuestas.

Tabla 3.2. Resultados experimentales de la hidrólisis enzimática de las hojas de la *moringa oleífera*

#	Masa de moringa (g)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de reacción (min)	$^{\circ}\text{Bx}$
1	0	0	30	0.05
2	25	300	0	0.3
3	25	0	60	0.95
4	50	0	30	1.2
5	25	0	0	0.3
6	50	150	0	0.6
7	50	300	30	1.4
8	25	150	30	1.05
9	0	150	0	0

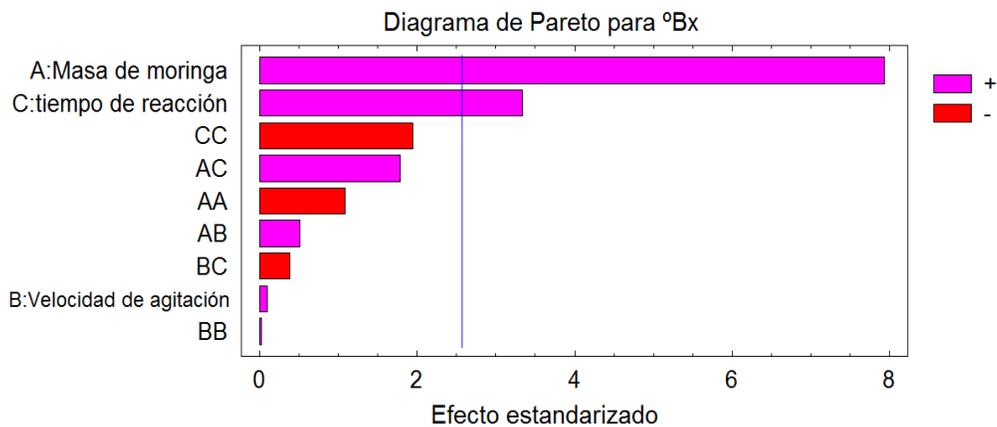


#	Masa de moringa (g)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de reacción (min)	°Bx
10	25	300	60	0.8
11	25	150	30	0.65
12	0	150	60	0
13	0	300	30	0.05
14	50	150	60	1.3
15	25	150	30	0.65

3.3. Análisis de significación

El análisis de significación reveló que el efecto lineal de la masa de moringa y el tiempo de reacción son las variables que influyen de manera significativa como lo demuestra el diagrama de Pareto (figura 3.1). Se puede apreciar además, en la figura 3.1, que las interacciones entre las variables y la velocidad de agitación no influyen significativamente. El efecto no significativo de la variable velocidad de agitación constituye un resultado a destacar ya que desde el punto de vista del diseño ingenieril permite prescindir de un agitador mecánico representando un ahorro considerable en el aspecto económico. El análisis de varianza muestra que los valores del *p-value* de las variables de significación son menores de 0.05, para un 95% de confianza. ([Anexo 5](#))

Figura 3.1. Diagrama de Pareto para el Brix



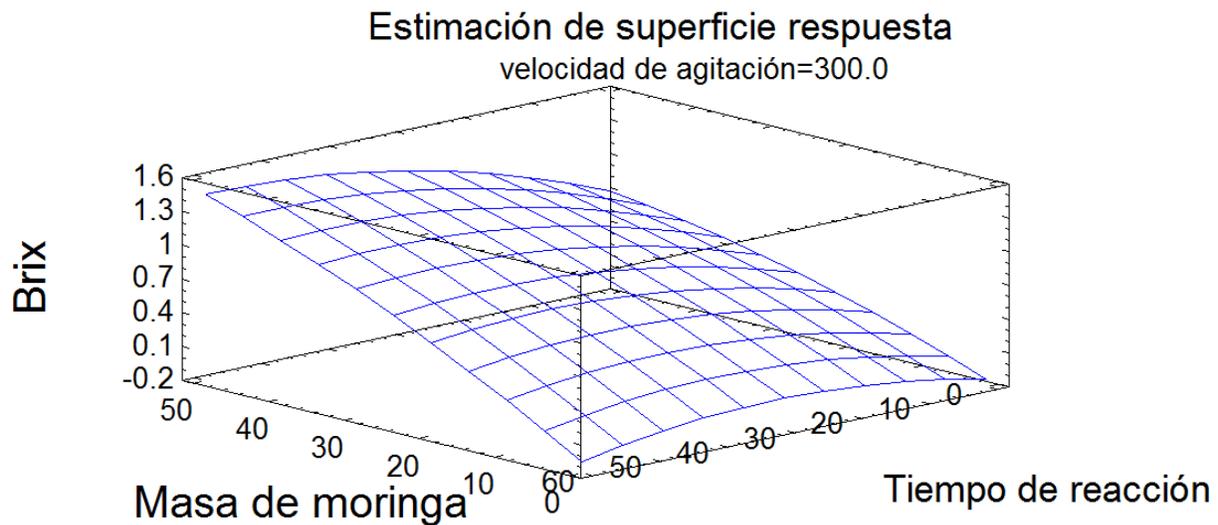


A partir de los resultados experimentales se obtuvo un modelo matemático que refleja la correlación de la masa de moringa con el factor tiempo de reacción (el modelo está en función de las variables que influyen significativamente) (ec. 3.1).

$$\text{Brix} = -0.16125 + 0.022 * \text{M. moringa} + 0.00770833 * \text{T. reacción} \quad \text{ec. 3.1}$$

El modelo matemático obtenido en análisis de regresión (ec. 3.1) permite predecir, para las condiciones óptimas de experimentación, un máximo en el contenido de sólido disuelto de 1.45268 °Bx para una masa de moringa de 49.9475 g y un tiempo de reacción de 59.9996 min. La representación gráfica de las condiciones óptimas de este modelo, se muestra en el diagrama de superficie de respuesta (figura 3.2) y el gráfico de contornos de superficie de respuesta ([Anexo 6](#)). El resultado del modelo matemático se verificó bajo las condiciones óptimas experimentales, obteniéndose un valor de 1.5°Bx para un error de 3.15 % validando el modelo matemático a las condiciones de trabajo.

Figura 3.2. Diagrama de superficie respuesta



3.4. Determinación del contenido de proteína cruda y aminoácidos en la hoja de *moringa oleífera*

Como resultado de la determinación del contenido de proteínas cruda de las hojas de *moringa oleífera* por el método de Kjehldal se obtuvo un valor de 264.4 g/kg (tabla 3.3). Este resultado es superior a lo reportado por Anele *et al.*, (2008) e inferior a lo obtenido



por Melesse (2011), aunque se encuentra en el rango de los determinados por otros autores.

El autor considera que un aspecto importante que influye en la composición química de las hojas de la *moringa oleífera* es la estación del año en la que se corte la planta, como lo demuestra Anele *et al.*, (2008), además de las condiciones del suelo y climatológicas a las que esté expuesta la planta. De ahí a que los valores obtenidos disten en cierta medida a otros reportados por varios autores.

El contenido de aminoácidos (Tabla 3.4) presentes en las hojas de la moringa se realizó por lo planteado por Cohen y Michaud (1993) y Cohen *et al.*, (1993). Los valores alcanzados son inferiores, de forma general, a los obtenidos por Melesse *et al.*, (2011), pero permiten comparar el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales presente en las hojas de *moringa oleífera* cultivada en Cuba. Se demuestra con este análisis las potencialidades nutritivas de esta planta para su incorporación en varios renglones de la industria alimentaria cubana.

Tabla 3.3. Proteína cruda (Método Kjehldal)

Contenido de nitrógeno:	42.3 g/kg
Proteína cruda (Nx6.25):	264.4 g/kg

Tabla 3.4. Contenido de aminoácidos en las hojas de la *moringa oleífera* (g/kg materia seca)

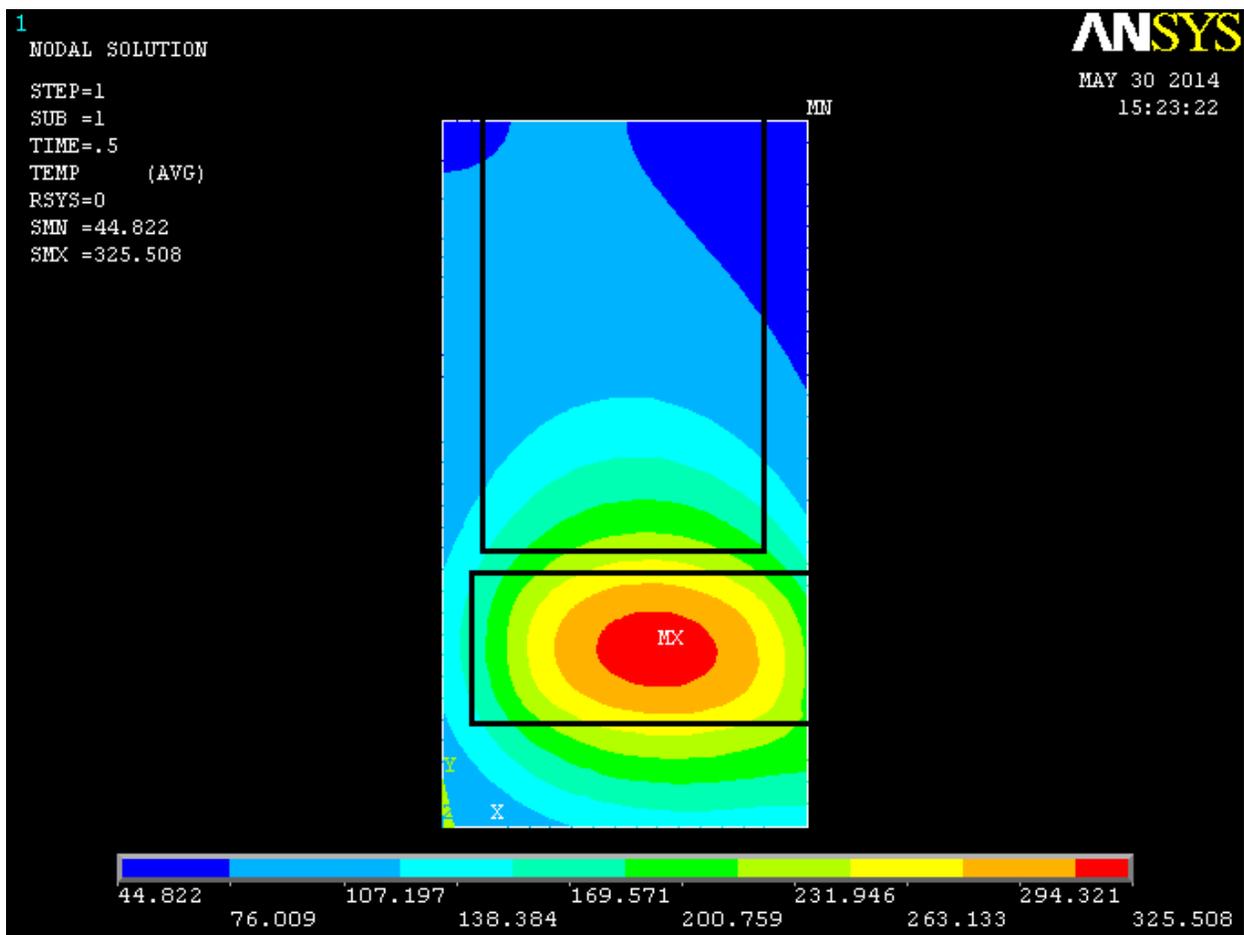
asp	ser	glu	gly	his	arg	thr	ala	pro	tyr	val	met	lys	ile	leu	phe
23.1	10.9	32.9	10.4	6.9	11.0	20.8	17.6	10.1	9.2	13.6	2.8	13.7	11.5	18.5	11.2



3.5. Simulación de la distribución de temperatura en el reactor enchaquetado con agitación

En la figura 3.3 se observa la distribución de temperaturas en las diferentes zonas que componen el equipo, obteniéndose los valores máximos en la zona donde está ubicada la resistencia eléctrica con 325.508°C y el valor mínimo en las esquinas superiores, donde menor es la influencia del gradiente térmico con 44.022°C.

Figura 3.3. Distribución de temperatura en las diferentes zonas del reactor



En el interior del vaso donde ocurren las reacciones enzimáticas se alcanzan temperaturas de hasta 169.571°C lo cual es acertado para la investigación, pues en la misma solo se desea trabajar a 50°C, esto permite que con un mínimo uso de energía se alcancen las condiciones de operación deseadas. Ello permite darle diferentes usos



al mismo como realizar maceraciones que nos permitan obtener nuevas recetas de bebidas a menor escala.

3.6. Análisis de Resistencia Mecánica del reactor

La tensión máxima que se genera en el equipo al aplicar la carga de trabajo ([Anexo 7](#)) es de 116.14MPa, la cual está por debajo del límite de fluencia del material 255MPa para las condiciones de operación del equipo. Esto permite que el equipo no sufra deformación plástica, arrojando como resultado una alta resistencia mecánica ante las presiones que se generan en el equipo.

Las deformaciones máximas que se generan en el equipo ([Anexo 8](#)) son de 0.0054mm, las cuales son prácticamente despreciables y no superan el límite elástico del material, por lo cual se pueden considerar admisibles.

3.7. Costo de la construcción del reactor enchaquetado con agitación

En el proceso de construcción del reactor enchaquetado con agitación se empleó acero inoxidable AISI 316 proveniente del desmonte de secciones de flujo de diversas plantas químicas en su período de mantenimiento programado. De esta forma se le extendió la vida útil a las secciones en buen estado de estos materiales en la conformación de un equipo con gran utilidad para la investigación científica. En la tabla 3.5 se muestran el resto de los materiales con su respectivo costo de adquisición.

Tabla 3.5 Costo de los materiales de construcción y mano de obra

Material	Costo (CUP)	Unidades
Electrodo de acero inoxidable	3	30
Acero inoxidable AISI 316	Reciclado	5m
Resistencia eléctrica	20	1
Pernos (AISI 316)	20	4
Junta de amianto	Reciclado	1



Material	COSTO (CUP)	UNIDADES
Cable de alimentación	20	1
Válvula de seguridad (Bronce)	Reciclado	1
Nudo 1" (AISI 316)	75	1
Conector 1" (AISI 316)	180	1
Reducido (Acero)	60	1
Agitador	-	1
Soporte	20	1
Mano de obra	400	-
Costo total del equipo	945	

Como se puede apreciar en la tabla 3.5, el costo total no excede los 1000 pesos cubanos el cual no es representativo comparado con el importe total de adquisición de un equipo, con características semejantes al construido por el autor, en el mercado internacional repercutiendo en un ahorro considerable para Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos y el país de forma general. En el [anexo 9](#) se exponen ejemplos del costo de equipos comparables al construido en este trabajo, que se pueden adquirir en el mercado internacional. Con este trabajo se contribuye a la sustitución de importaciones, en correspondencia a la implementación de los Lineamientos de la Nueva Política Económica y Social del Partido y la Revolución expuestos en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba en La Habana, Cuba.



Conclusiones

1. Se aplicó el método de similitud para el escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación obteniéndose como factor de escala un valor de 4.29.
2. Se construyó un reactor enchaquetado de tanque agitado a escala banco con una capacidad de 2.5 litros ([Anexo 10](#))
3. Se obtuvo un modelo matemático que permite maximizar el contenido de sólidos disueltos en la bebida a producir, arrojando como resultado 1.45268°Bx para una masa de moringa de 49.9475g, a una velocidad de 300rpm y un tiempo de reacción de 59.9996min.
4. Se simuló mediante elementos finitos con la ayuda del software ANSYS los parámetros de operación del reactor enchaquetado construido, en el que teniendo en cuenta las tensiones que se generan en el equipo no superan el límite de fluencia, ni el límite de rotura del material y las deformaciones que se generan en el mismo son totalmente elásticas, queda demostrado que el reactor resiste mecánicamente y puede ser empleado para realizar el proceso de hidrólisis enzimática resistiendo las presiones que se generan durante el mismo.
5. Este trabajo contribuye a la implementación de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución expuestos en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, específicamente en lo expuesto en los puntos 44 y 87.



Recomendaciones

1. Determinar la composición química de la bebida fermentada a producir como continuidad de este trabajo de diploma.
2. Implementar un sistema de control automático que permita controlar las variables de operación.



Referencias Bibliográficas

1. Aberra, M, Workinesh, T and Tegene, N. 2011. Effects of feeding *moringa stenopetala* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14:485-492.
2. Alvarado C, Álvarez P, Puerto M, Gausseres N, Jimenez L, De la Fuente M. 2006. Dietary supplementation with antioxidants improves functions and decreases oxidative stress of leukocytes from prematurely aging mice. *Nutrition.* 22(7-8):767-77.
3. Ameen M., Ahmad I., Musthapa M.S., Rahman Q. 2004. Cytotoxic effect and role of exogenous antioxidants in carpet dust mediated toxicity in rat hepatocytes in vitro. *Toxicology in Vitro.* Aug; 18(4):419-25.
4. Anele *et al.*, (2008). 'Early growth and seasonal chemical composition of three indigenous multipurpose tree species (MPTS) in Abeokuta, Nigeria'. *Agroforest Syst.* DOI 10.1007/s10457-007-9101-6 pp 89-98.
5. ASBC, 1996. *Methods of Analysis of the American Society Berwing of Chemists.*
6. Asenjo, J. and C. Merchuk 1994: *Bioreactor system design, Cap. 14 (Scale-Up) by Carles Solá and Francesc Gódia, Bioprocess Technology Series/21, pp. 511-552.*
7. Basio, A. 1985. *Scaleup of chemical processes, John Wiley and Sons. Inc., pp.699.*
8. Beuth J. 2008. Proteolytic enzyme therapy in evidence-based complementary oncology: fact of fiction? *Integer Cancer Ther.* 7:311-316.
9. Brien S, Lewith G, Walker A 2004. "Bromelain as a Treatment for Osteoarthritis: a Review of Clinical Studies". *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM.* 1 (3): 251–257. Doi: 10.1093/ecam/neh035. PMID 15841258.
10. Carrera J. 2002. Módulos de Biotecnología, "Enzimas Industriales, Biorreactores, Variables de Control, Guías de Laboratorio y Biotecnología Agrícola y Vegetal" Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca.
11. Carrillo, R. 2003. Informe técnico al MINAL. C. Habana. ICIDCA.
12. Cerveza. 2006. Una bebida agradable de origen remoto. (on line). (Consultado el 13 de mayo del 2014). Disponible en Internet: < [http://www. Consuma seguridad. com / web /es /normativa legal/2001/08/20/363_3.php](http://www.ConsumaSeguridad.com/web/es/normativa%20legal/2001/08/20/363_3.php)>.



13. Cohen, S.A., De Antonis, K., y Michaud, D.P. (1993) "Compositional Protein Analysis Using 6-Aminoquinolyl-N-Hydroxysuccinimidyl Carbamate, a Novel Derivatization Reagent," *Techniques in Protein Chemistry IV*, pp. 289.298, (R.H. Angeleti, Ed.) Academic Press, San Diego, CA.
14. Cohen, S.A. y Michaud, D.P. (1993) "Synthesis of a fluorescent Derivatizing Reagent, 6-Aminoquinolyl-N-Hydroxysuccinimidyl Carbamate, and its Application for the Analysis of Hydrolysable Amino Acids via High Performance Liquid Chromatography," *Anal. Biochem.* 211, pp. 279.287
15. Coker, A.K. 2001. *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Texas: Gulf Publishing Company.
16. Cooreman W. 1978 VIII. Bromelain. In: *Pharmaceutical Enzymes-Properties and Assay Methods*, pp. 107–121, Ruysen R. and Lauwers A. (ed), E. Story-Scientia Scientific Publishing Co. Gent/Belgium.
17. Dionicio P, E. (1999). *Aplicaciones de los Aceros Inoxidables*. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* [online]. vol.2, no.3 [citado 1 Junio 2014], p.11-21. Disponible en la www: http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08881999000100001&lng=es&nrm=iso. ISSN 1561-0888.
18. Dragone, G., Almeida e Silva J.B., Silva, D.P., Santos, L. 2002. *Elaboração da cervezas en Brasil*.
19. Duncan, T.M y Reimer, J.A., 1998. *Chemical Engineering Design and Analysis. An introduction*. 1st Ed. Cambridge: Cambridge University Press.
20. Fahey JW 2005. *Moringa oleífera*: A review of the Medical evidence for its nutritional, Therapeutic and prophylactic properties. Part 1. <http://www.TFLjournal.org/article.php/20051201124931586>. Accessed 15/01/2014.
21. Fernández, Inés y Martínez, Alejandra. 2001. *La cerveza*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. ISBN978-84-362-443-5.
22. Fitzhugh DJ, Shan S, Dewhirst MW *et al.* (2008). Bromelain treatment decreases neutrophil migration to sites of inflammation. *Clin Immunol.* 128:66-74.
23. Foidl N, Makkar HPS, Becker K 2001. The Potential of *moringa oleífera* for Agricultural and industrial uses. What development potential for Moringa products?



- October 20th- November 2nd 2001. Dar Es Salaam.
24. Fuglie LJ 2001. Combating malnutrition with moringa. In: Lowell Fugile, J. (Ed). The Miracle Tree: The Multiple Attributes of moringa. CTA Publication, Wageningen. The Netherlands, pp. 117-136.
 25. Gacesa P. Y Hubble J. 1990. Tecnología de la Enzimas. (Acribia. Zaragoza. España).
 26. Galindo, E. 1996. Curso latinoamericano de biotecnología, Escuela de Ingeniería Bioquímica, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
 27. Gamboa, E. y Alvarez, R. 2012. Acero inoxidable 316 y 316 L propiedades y características físico-químicas. Venezuela. Fundación universitaria los libertadores.
 28. García, E. 2001. La cerveza, esa gran bebida. "Colección Enciclopedia práctica del consumo" San Sebastián: Ediciones Euhasa. ISBN978-84-7607-001-7.
 29. González, E. *et al.* 2005. Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos. Editorial Científico-Técnica, La Habana. Capítulo 4, pp. 90-94. ISBN 959-05-0377-2
 30. Guinjoan, A., 2009. Elaboración de cerveza. Producción, pp. 1-18.
 31. Gupta, M., Abu-Ghannam, N. and Gallagher, E. 2010. Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of it's By-Products. [Consultada: 15 enero 2014]. Disponible en: <http://www.celiachia/default>.
 32. Gutiérrez, Santos, M., Jiménez, J.J., Del-Nozal, MJ. Gómez Cordovés, *et al* C. 2002. Pentoses and hydroxycinnamic acids in brewers" spent grain.
 33. Hatano K., Kojima M., Tanokura M., Takahashi K. 1996. Solution structure of bromelain inhibitor VI from pineapple stem: structural similarity with Bowman-Birk trypsin/chymotrypsin inhibitor from soybean. *Biochemistry* 35:5379 – 5384.
 34. Holman, J.P. 1999. Transferencia de calor. México: Continental s.a., 1999. ISBN o-07-0229618-9
 35. Hough, S. J. 2001. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza: Editorial Acribia. ISBN 978-84-200-0681-9.
 36. Huogh, 1982. Biotecnología de la Cerveza y de la Malta. Editorial ACRIBIA, S.A.



37. Lenarcic B., Ritonja A., Turk B., Dolenc I. and Turk V. 1992. *Characterization and structure of pineapple stem inhibitor of cysteine proteinases*. Biol. Chem. Hoppe-Seyler 373:459 – 464
38. Lewis, M.J and Bamfosth, C.W. 2006. *Essays in Brewing Science*. SpringerScience +Business Media, LLG New York.
39. Makkar HPS, Becker K 1996. Nutritional value and anti-nutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleífera* leaves. *Animal Feed Science and Technology* 63 (1-4):211 228.
40. Makkar, H.P.S. and Becker, K. 2012. The potential of *Moringa oleífera* for agricultural and industrial uses.
41. Melesse A, Bulang M, Kluth H 2009. Evaluating the nutritive values and in vitro degradability characteristics of leaves, seeds and seedpods from *Moringa stenopetala*. *Journal of Science of Food and Agriculture* 89:281-287.
42. Melesse A, Tiruneh W, Negesse T 2011. Effects of feeding *Moringa stenopetala* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. *Tropical Subtropical Agroecosystems* 14:485-492.
43. Mesones, B., 2007. *Manual Practico del cervecero*, s.l.: s.n.
44. Molina, J.L., 1989. *La Cebada, Morfología, Fisiología, Genética, Agronomía y Usos Industriales*. Editorial: Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación.
45. Moyo et al., 2011. Nutritional characterization of *Moringa (Moringa oleífera Lam.)* leaves. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(60), pp. 12925-12933, DOI: 10.5897/AJB10.1599. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>
46. Nauman, E.B. 2008. *Chemical Reactor Design, Optimization and Scale up*. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley and Sons.
47. NMX-AA-25: 1984. *Protección al ambiente-Contaminación del suelo. Residuos sólidos Determinación del pH–Método potenciométrico*. Normas mexicana. Dirección general de normas, México, p. 2-3
48. Odee, D. 2012. Forest biotechnology research in drylands of Kenya: the development of *Moringa* species. *Dryland Biodiversity* 2, 7-8.
49. Ogbe, A.O. *et al.* 2011. Proximate study, mineral and anti-nutrient composition of *Moringa oleífera* leaves harvested from Lafia, Nigeria: potential benefits in poultry



- nutrition and health Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences.
50. Ramachandran, D.; Peter, K.V. & Gopalakrishnan, P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleífera*): a multipurpose Indian vegetable. Economic Botany. 34:276.
51. Rashid, U.; Anwar, F.; Moser, B.R. & Knothe, G. 2008. *Moringa oleífera* oil: a possible source of biodiesel. Biores. Technol. 99:8175.
52. Reddy, D.H.K.; Ramana, D.K.V.; Seshaiyah, K. & Reddy, A.V.R. 2011. Biosorption of Ni (II) from aqueous phase by *Moringa oleífera* bark, a low cost biosorbent. Desalination. 268:150.
53. Ricardo, 2012. Seed and oil yields of *Moringa oleífera* variety Periyakalum, introduced for oil production in four ecosystems of South America. Industrial Crops and products 36-70-73. www.elsevier.com/locate/in.crop.
54. Romero, R.J., Siqueiros, J., Best, R., Cuevas, C. Gonzalez, G., Uruchurtu, J., Sierra, F., Urquiza, G., Basurto, M., Alvarez, A., Silva, S., Bourouis, M., Cerezo, J. y Coronas, A. 2005. Technological and scientific challenges in heat pumps. Reference Num. P2-6, Proceedings of the 8th. IEA Heat Pumps Conference 2005, Las Vegas, Nevada, EUA.
55. Rowan A.D. and Buttle D.J. 1994. Pineapple cysteine endopeptidases. Meth. Enzymol. 244: 555-568.
56. Sambrook, Pamela. 2006. Country House Brewing in England, 1500-1900. ISBN 1852851279
57. Sanchez NR, Ledin S, I 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleífera* under different management regimes in Nicaragua. Agroforestry Systems 66(3):231-242.
58. Santos, A., et al. 2009. *Estudios bioquímicos da enzima bromelina do Ananas comosus (abacaxi)*. 11, Sao Cristobal : Sciential Plena, novembro 2009, Vol. 5.
59. Sengupta, Mita E. et al. 2012. Use of *Moringa oleífera* seed extracts to reduce helminth numbers and turbidity in irrigation water Available online at [www.sciencedirect.com/journal/homepage: www.elsevier.com/locate/watres](http://www.sciencedirect.com/journal/homepage:www.elsevier.com/locate/watres).
60. Silva, Andrés Pablo Bozzo. 2012. Optimización de proceso en planta productora de extracto de malta. Santiago de Chile: s.n., 2012.
61. SINDCERV. 2008. Sindicato Nacional Da Indústria Da Cerveja. Disponível em:



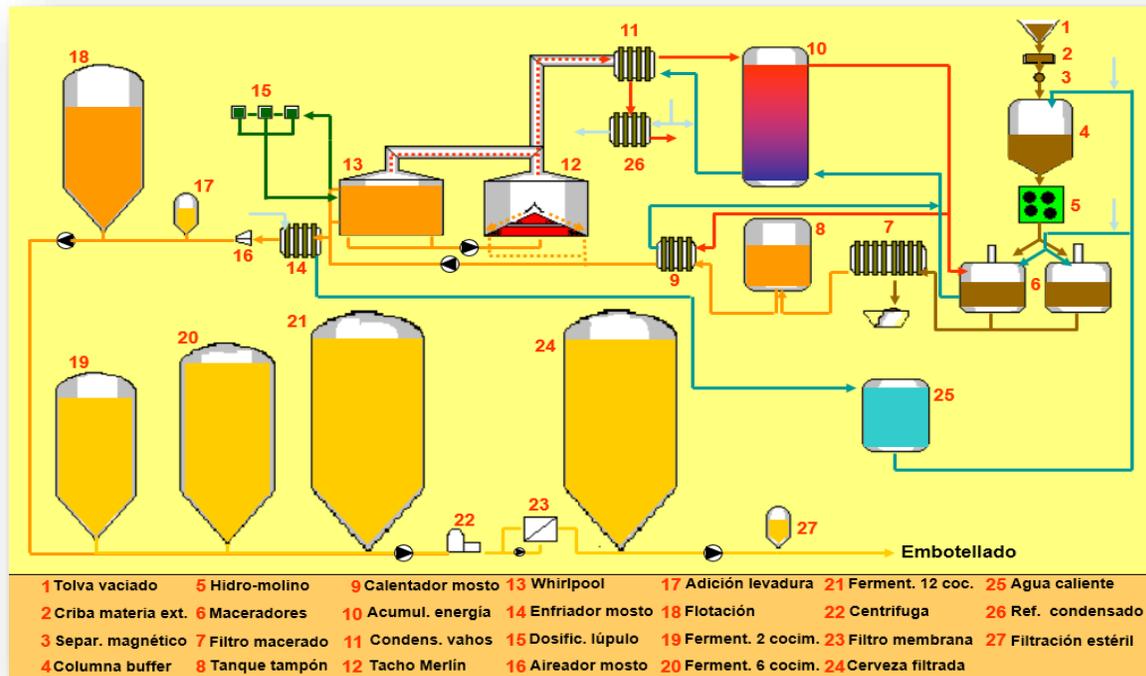
- <<http://www.sindicerv.com.br/mercado.php>>.
62. Sluiter, A., Hames, B, Payne, C, Scarlata, C, Sluiter, J, Templeton, D. 2008 Determination of insoluble solids in pretreated biomass material. Laboratory Analytical Procedure (LAP). Technical Report NREL/TP-510-42627. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.
 63. Soliva, CR, Kreuzer, M, Foidl, N, Foidl, G, Machmüller, A and Hess HD. 2005. Feeding value of whole and extracted *Moringa oleífera* leaves for ruminants and their effects on ruminal fermentation in vitro. Anim. Feed Sci. Technol. 118:47-62.
 64. Trambouze, P 1979. "Reactor scale up philosophy", Chemical Engineering, (10): 122-130.
 65. Verhoef, Berfy. 2003. La enciclopedia de la cerveza.
 66. Verzele M. and Keukeleire, 1991. Chemistry and Analysis of Hop and Beer Bitter Acids. Developments in Food Science. Vol. 27.
 67. Watt, J.M. & Breyer-Brandwijk, M.G., 1962. The Medicinal and Poisonous Plants of Southern and Eastern Africa, 2nd ed. Pub: E&S Livingstone.
 68. Weiss, S. E., 2003. *Alimentos saudáveis, alimentos perigosos*. Rio de Janeiro: Reader is Digest Brasil Ltda.
 69. Yang, RY, Chang, LC, Hsu, JC, Weng, BBC, Palada, MC. Chadha, ML and Levasseur V. (2006). Nutritional and Functional Properties of Moringa Leaves: From Germplasm, to Plant, to Food, to Health. In: Moringa and other highly nutritious plant resources: Strategies, standards and markets for a better impact on nutrition in Africa. Accra, Ghana.
 70. Zhao, J.H. *et al.* 2012. Bioactive secondary metabolites from Nigrosporasp. LLGLM003, an endophytic fungus of the medicinal plant *Moringa oleífera*. World J Microbiol Biotechnol 28:2107–2112.
 71. Zlokarnik, M. 2006. Scale up in Chemical Engineering. 2nd Ed. Austria: Wiley-VCH.

Anexos

Anexo 1. Criterios de escalado y su porcentaje de uso

Criterio	Porcentaje de Uso
K_{LA}	55
P/V	55
N_D	49
T_{MIX}	35
R_E	29
Q/V	12
N_A	12
$K_L A P_T$	6
K_L	4
Otros	10

Anexo 2. Flujo tecnológico del proceso de elaboración de cerveza.





Anexo 3. Secuencia de programación en ANSYS

```
!*  
/COM,  
/COM, Preferences for GUI filtering have been set to display:  
/COM, Thermal  
/PREP7  
K,1,0.0,0  
K,2,166e-3,0  
K,3,166e-3,50e-3  
K,4,166e-3,110e-3  
K,5,166e-3,321e-3  
K, 6, 153e-3,321e-3  
K, 7,153e-3,169e-3  
K, 8,13e-3,169e-3  
K, 9,13e-3,321e-3  
K, 10, 0,321e-3  
K, 11, 0,259e-3  
K, 12, 0,224e-3  
K, 13,30e-3,50e-3  
K, 14,30e-3,110e-3  
L, 1,2  
L, 2,3  
L, 3,4  
L, 3,13  
L, 13,14  
L, 14,4  
L, 4,5  
L, 5,6  
L, 6,7  
L, 7,8  
L, 8, 9
```



L, 9, 10
L, 10, 11
L, 11, 12
L, 6, 9
L, 12, 1
FLST, 2,14,4
FITEM, 2, 1
FITEM, 2, 2
FITEM, 2, 4
FITEM, 2, 5
FITEM, 2, 6
FITEM, 2, 7
FITEM, 2, 8
FITEM, 2, 9
FITEM, 2, 10
FITEM, 2, 12
FITEM, 2, 11
FITEM, 2, 13
FITEM, 2, 14
FITEM, 2, 16
AL, P51X
AL, 3,6,5,4
A, 6,7,8,9
APLOT
ET, 1, PLANE55
!* MATERIAL PROPERTIES
MPTEMP,
MPTEMP, 1, 0
MPTEMP, 2, 10
MPTEMP, 3, 21.11
MPTEMP, 4, 32.22



MPTEMP, 5, 43.33

MPTEMP, 6, 54.44

MPTEMP, 7, 65.55

MPTEMP, 8, 66.67

MPTEMP, 9, 87.78

MPTEMP, 10, 104.4

MPTEMP, 11, 126.7

MPTEMP, 12, 148.9

MPTEMP, 13, 176

MPTEMP, 14, 204.4

MPDATA, KXX, 1, 0.556 *!* Thermal conductivity (W/much)*

MPDATA, KXX, 1, 0.585

MPDATA, KXX, 1, 0.604

MPDATA, KXX, 1, 0.623

MPDATA, KXX, 1, 0.644

MPDATA, KXX, 1, 0.649

MPDATA, KXX, 1, 0.659

MPDATA, KXX, 1, 0.668

MPDATA, KXX, 1, 0.675

MPDATA, KXX, 1, 0.684

MPDATA, KXX, 1, 0.685

MPDATA, KXX, 1, 0.684

MPDATA, KXX, 1, 0.677

MPDATA, KXX, 1, 0.665

MPDATA, C, 1, 4.225

MPDATA, C, 1, 4.195

MPDATA, C, 1, 4.176

MPDATA, C, 1, 4.174

MPDATA, C, 1, 4.174

MPDATA, C, 1, 4.179

MPDATA, C, 1, 4.183



```
MPDATA, C, 1,4.191
MPDATA, C, 1,4.199
MPDATA, C, 1,4.216
MPDATA, C, 1,4.250
MPDATA, C, 1,4.296
MPDATA, C, 1,4.372
MPDATA, C, 1,4.476
AESIZE, 1, 0.01      !*MESH PARAMETERS
AESIZE, 2, 0.005
AESIZE, 3, 0.005
MSHAPE, 0,2D      !*MESH OPTIONS (CUADRILATERAL ELEMENTS)
MSHKEY, 0
AMESH, ALL      !*MESH
/SOLU
!*
ANTYPE, 4
!*
TRNOPT, FULL
LUMPM, 0
!*
!*
NSUBST, 20, 100, 10
OUTRES, ERASE
OUTRES, ALL, ALL
AUTOTS, 1
LNSRCH, 1
NEQIT, 100
EQSLV, SPAR
!*
THOPT, FULL, 0.05,64,
EQSLV, 0,
```



PRECISION, 0

MSAVE, 0

TOFFST, 0.1,

TIME, 10

!*
 !*

IC, ALL, TEMP, 30!*Condiciones iniciales

BFA, 2, HGEN, 98039 !*Calor generado por la resistencia.

SFA, 1, CONV, 2000,30 !*Transferencia de calor por convección en sustancia
 1.

SFA, 3, CONV, 2000,30 !*Transferencia de calor por convección en sustancia
 2.

SFL, 1, CONV, 15,30!*Transferencia de calor por convección desde la pared al
 exterior a través del aire.

SFL, 3, CONV, 15,30,

SFL, 7, CONV, 15,30,

SFL, 8, CONV, 15,30,

SFL, 12, CONV, 15,30,

SFL, 16, CONV, 15,30,

!* SFA, ALL, RDSF,0.25,1 !*Transferencia de calor por Radiación.

!* FLST, 2, 10, 4, ORDE, 6

!* FITEM, 2, 1

!* FITEM, 2,-3

!* FITEM, 2, 7

!* FITEM, 2,-8

!* FITEM, 2, 12

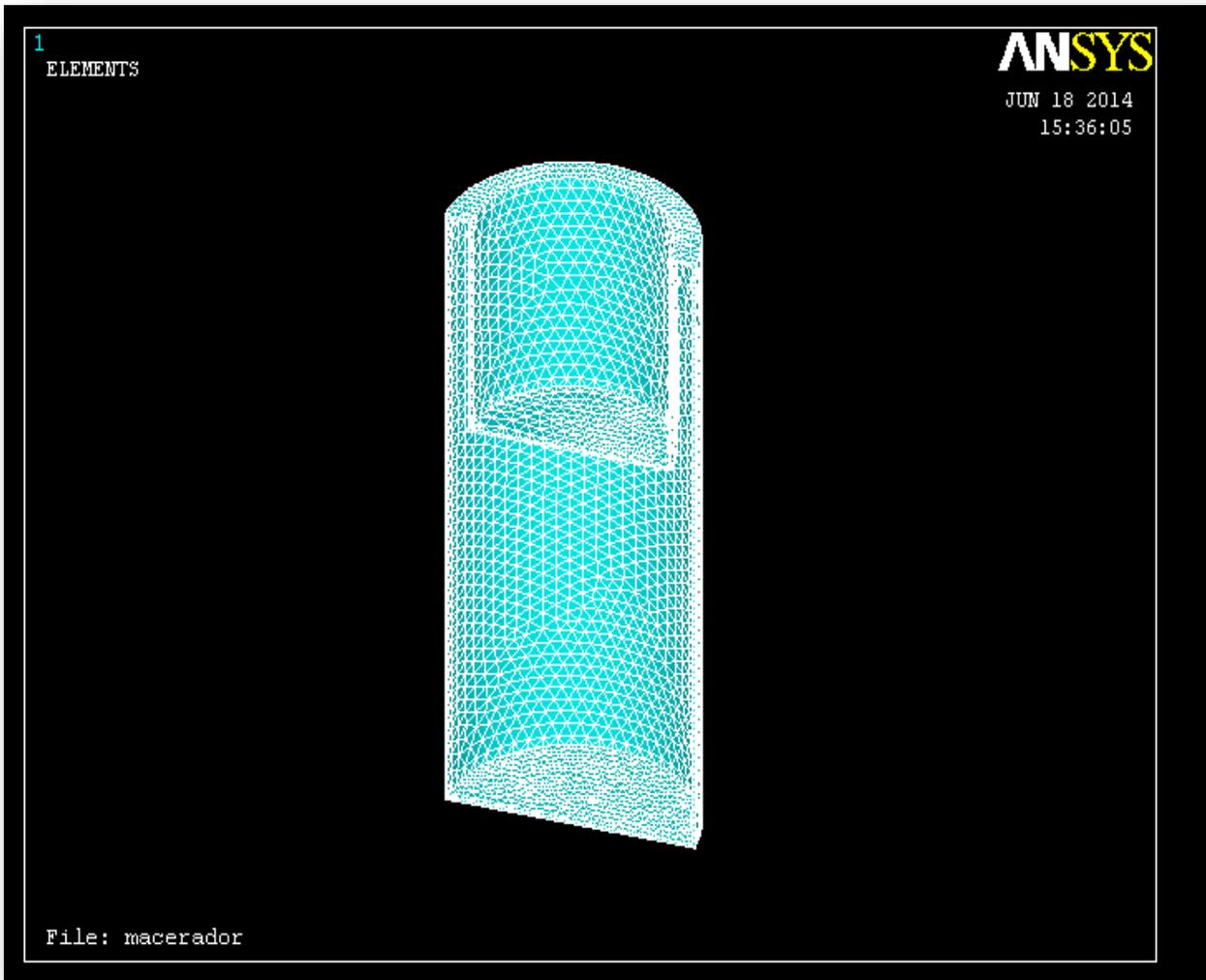
!* FITEM, 2,-16

!* SFL, P51X, RDSF, 0.25,1,

solve



Anexo 4. Mallado del reactor





Anexo 5. Análisis de varianza

Analysis of Variance for Brix

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Masa de moringa	2.42	1	2.42	62.93	0.0005
B:velocidad de agita	0.0003125	1	0.0003125	0.01	0.9317
C:tiempo de reacción	0.427813	1	0.427813	11.12	0.0207
AA	0.045016	1	0.045016	1.17	0.3287
AB	0.01	1	0.01	0.26	0.6318
AC	0.1225	1	0.1225	3.19	0.1344
BB	0.0000160256	1	0.0000160256	0.00	0.9845
BC	0.005625	1	0.005625	0.15	0.7179
CC	0.144631	1	0.144631	3.76	0.1102
Total error	0.192292	5	0.0384583		
Total (corr.)	3.359	14			

R-squared = 94.2753 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 83.9709 percent

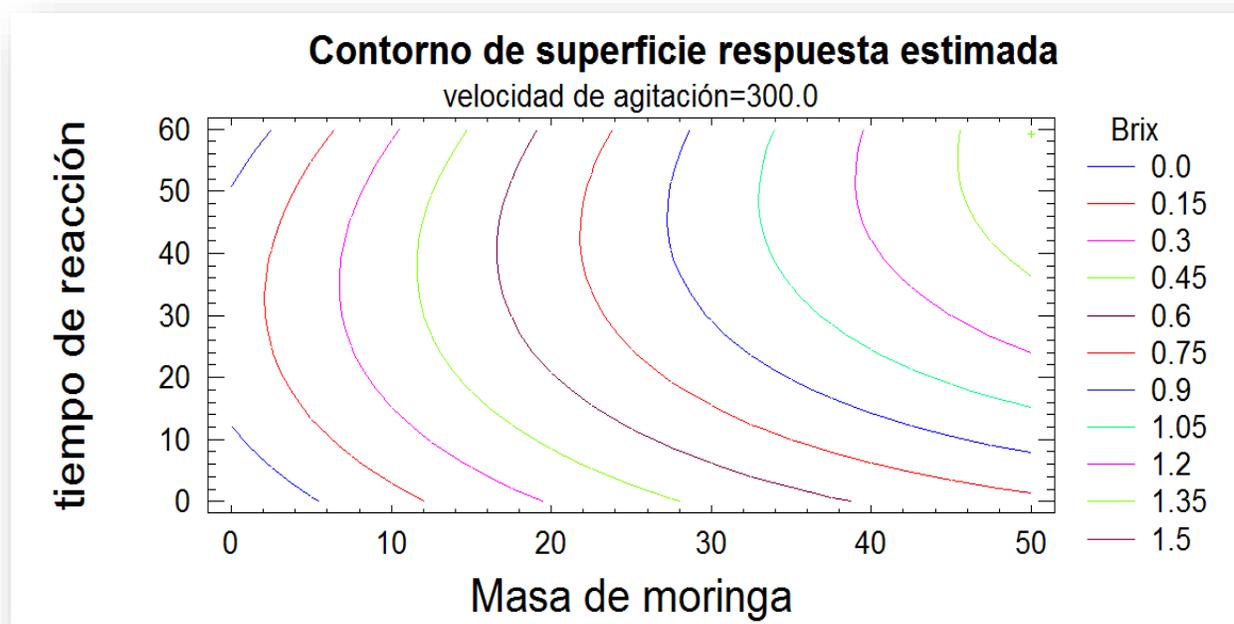
Standard Error of Est. = 0.196108

Mean absolute error = 0.0905556

Durbin-Watson statistic = 0.921294 (P=0.0094)

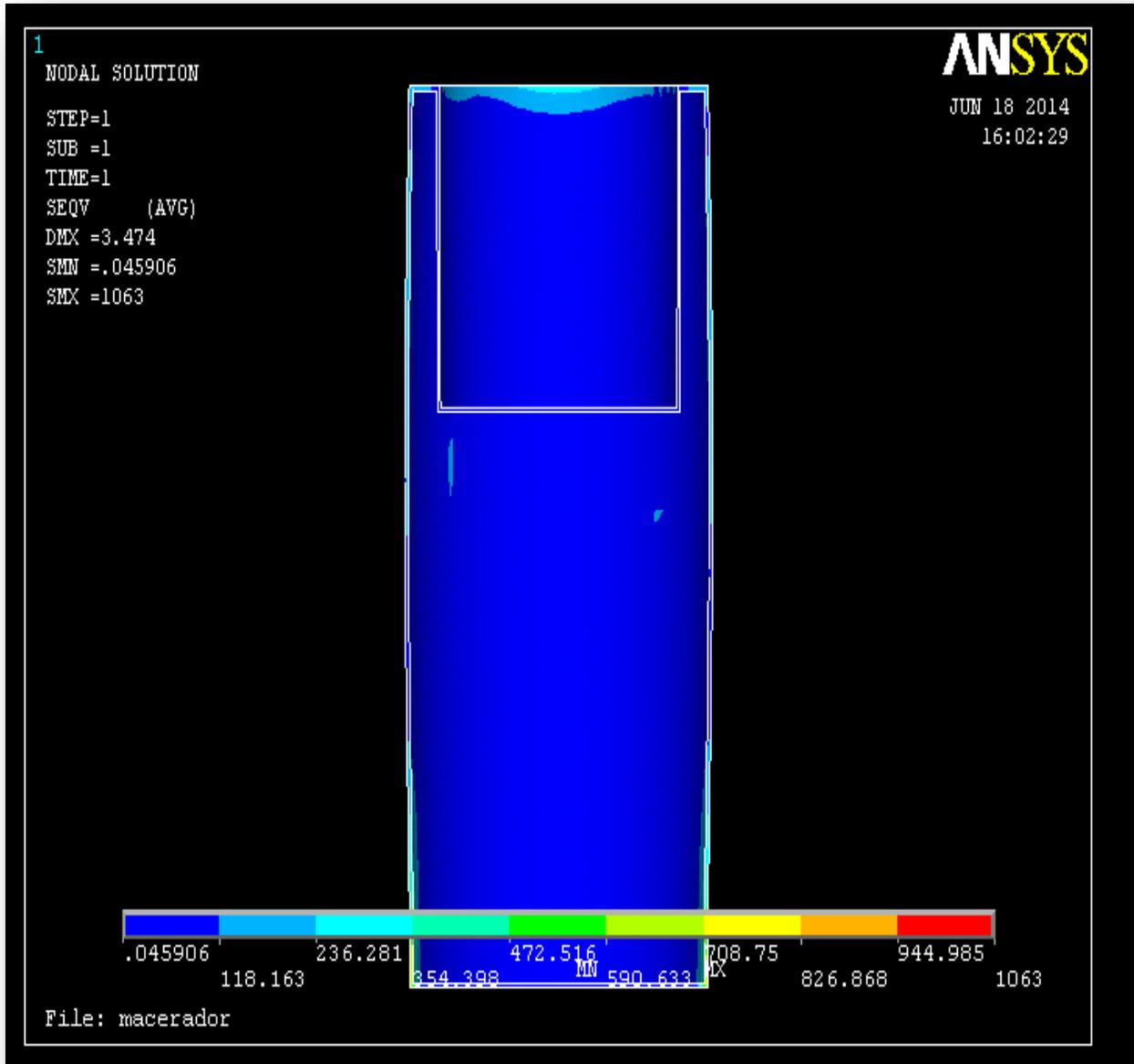
Lag 1 residual autocorrelation = 0.45646

Anexo 6. Contorno de superficie respuesta estimada



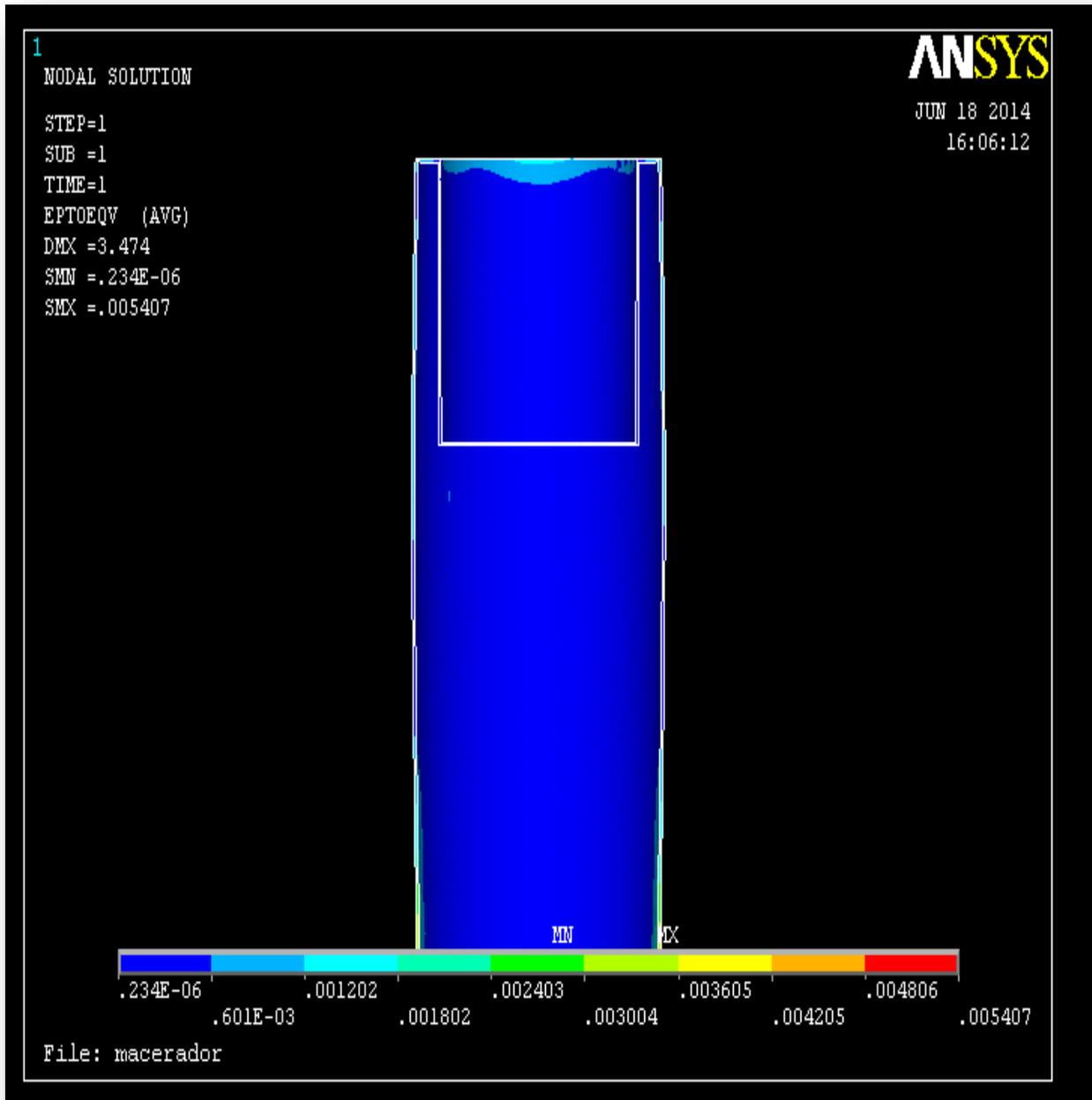


Anexo 7. Análisis de resistencia mecánica





Anexo 8. Deformaciones





Anexo 9. Reactor encaquetado con agitación

MegaDepot[®].com IN BUSINESS SINCE 2004

About Us | Contact Us | Help & Info

1-888-331-0555 Mon - Fri: 9 am - 5 pm EST **LOW PRICE GUARANTEE** Search Mega Depot® catalog My cart My account

Shop | Brands | Departments | Categories

Testing & Measuring Equipment | Lab Equipment | Marking & Identification Solutions | Industrial Products | Tools & Instruments | Safety Products | Networking Products | Absorbents & Spill Containment | Software

Home | Catalog | Ika Works - Lab Equipment | Ika Works - Lab Equipment, Laboratory Reactors | Ika Works - Laboratory Reactors | 8016501 - LR-2.St Lab Reactor System

Ika Works, 8016501

Why buy from an Authorized Distributor?

AUTHORIZED DISTRIBUTOR IKA[®]



LR-2.St Lab Reactor System: 115V

Part #: 8016501 [Manufacturers Link](#)

Voltage: **115V** 230V

Base Price: **\$25,181.00**

Availability: Contact Us
Condition: New

Unit of Measure: Each
Package Quantity: 1 pc

Due to excessive size and weight, shipping charges cannot be automatically calculated for this order.

HamiltonInstrument.com do more, serve better

Special Offers | Bookmark | Contact | Sitemap

Log In | Account | Basket | Checkout

Keywords All Categories

Home > Parr 2 Liter Stainless Steel Reactor 1900 PSI English US Dollar

PARR 2 LITER STAINLESS STEEL REACTOR 1900 PSI

- [Atomic Absorption](#)
- [Centrifuges](#)
- [Furnaces](#)
- [Gas Generators](#)
- [HPLC Pumps](#)
- [IR Spectroscopy](#)
- [Lab Freezers](#)
- [Lab Grinders](#)
- [Lab Presses](#)
- [Microscopes](#)
- [Ovens](#)
- [Pumps](#)
- [Reactors](#)
- [Shakers](#)
- [Stability Testing Chambers](#)
- [Ultrasonic Baths](#)
- [UV/Vis](#)



Click to enlarge

Price: \$8,250.00
Availability: 1
Model: 236HC20
Average Rating: Not Rated

Qty:

Agilent/HP 1100 MSD HPLC System, G1946D \$68,000.00

Description | Additional Images (3) | Reviews (0) | Related Products (2)



HamiltonInstrument.com
do more, serve better

Special Offers Bookmark Contact Sitemap

Log In Account Basket Checkout

Stirred Reactors

Home > Search > Parr 4523 Bench Top Reactor (2252HC20)

English US Dollar

PARR 4523 BENCH TOP REACTOR (2252HC20)

- [Atomic Absorption](#)
- [Centrifuges](#)
- [Furnaces](#)
- [Gas Generators](#)
- [HPLC Pumps](#)
- [IR Spectroscopy](#)
- [Lab Freezers](#)
- [Lab Grinders](#)
- [Lab Presses](#)
- [Microscopes](#)
- [Ovens](#)
- [Pumps](#)
- [Reactors](#)
- [Shakers](#)
- [Stability Testing Chambers](#)
- [Ultrasonic Baths](#)
- [UV/Vis](#)

Price: \$19,000.00
Availability: 1
Model: 4523
Average Rating: Not Rated

Qty: 1 Add To Cart

Click to enlarge

Agilent/HP 1100
MSD HPLC System.
G1946D
\$68,000.00

Description Additional Images (8) Reviews (0) Related Products (4)

Anexo 10. Reactor encaquetado con agitación construido por el autor

