



---

---

---

---

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**PROYECTO DE ESCALAMIENTO DE UNA PLANTA  
PILOTO PARA PROCESAR JUGO NATURISTA A NIVEL  
SEMI INDUSTRIAL. PLANTA PROCESADORA DE JUGO  
NATURISTA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**ROBERTO PEDRAZA ESPINOZA**

**ASESOR**

**RODOLFO RUIZ HERNÁNDEZ**

**MORELIA, MICH. AGOSTO DE 2010**



---

A mis queridos padres

**Ernestina Espinoza Espinoza y Francisco Pedraza Rojas**

Con sincero agradecimiento y cariño, por los esfuerzos realizados a base de sacrificios para lograr formar uno más de sus hijos.

A mi querida esposa en paz descansa Gladis I. Rodriguez Oropeza que desde el cielo me dará su bendición.

A toda mi familia que de una u otra forma aportaron parte de su tiempo para que lograra la meta trazada.

A mi escuela de Ingeniería Química y maestros.

Con gratitud por haberme permitido adquirir los conocimientos para ser útil en la vida.

Con agradecimiento a el Ingeniero.

**Ing. Rodolfo Ruiz Hernandez.**

Por la ayuda desinteresada para la realización de este trabajo.

[Escriba aquí una descripción breve del documento. Una descripción breve es un resumen corto del contenido del documento. Escriba aquí una descripción breve del documento. Una descripción breve es un resumen corto del contenido del documento.]

---

## INDICE

• <b>Título</b>	<b>5</b>
• <b>Introducción y Definición</b>	<b>6</b>
• <b>Miniplantas uso y diseño</b>	<b>7</b>
• <b>¿Qué es una miniplanta?</b>	<b>8</b>
• <b>Determinando la función</b>	<b>9</b>
• <b>Costo de una miniplanta</b>	<b>9</b>
• <b>Seguridad y mano de obra requerida</b>	<b>10</b>
• <b>Bases de diseño</b>	<b>12</b>
• <b>Diagrama de flujo de proceso</b>	<b>12</b>
• <b>Información económica</b>	<b>13</b>
• <b>Alcance de la miniplanta</b>	<b>14</b>
• <b>Personal calificado (una necesidad)</b>	<b>16</b>
• <b>Técnicas de operación</b>	<b>16</b>
• <b>Recolección y análisis de datos</b>	<b>17</b>
• <b>Generalidades</b>	<b>18</b>
• <b>Selección y diseño de equipo</b>	<b>16</b>
• <b>Escalamiento de datos piloto</b>	<b>16</b>
• <b>Plantas piloto</b>	<b>19</b>
• <b>Desventajas</b>	<b>20</b>
• <b>Principio de similaridad</b>	<b>20</b>
• <b>Análisis dimensional</b>	<b>23</b>
• <b>Teorema de Bukingham's o teorema II</b>	<b>26</b>
• <b>Rango de una matriz</b>	<b>26</b>
• <b>Método de Raleigh</b>	<b>26</b>
• <b>Método de la matriz II mejorado</b>	<b>28</b>
• <b>Método secuencial</b>	<b>29</b>
• <b>Teoría de los modelos</b>	<b>30</b>

---

• Proyecto de escalamiento de una planta piloto	31
• Objetivo	32
• Introducción	32
• Resumen	33
• Descripción del proceso	34
• Ingeniería del proyecto planta semi industrial	35
• Almacenamiento	35
• Medios de cultivo	35
• Filtración	35
• Empaque	36
• Descripción del proceso	38
• Escalamiento a planta industrial	40
• Tanques de cultivo fermentadores	44
• Diagrama de flujo de proceso	44
• Resumen	45
• Conclusiones	46
• Bibliografía	47

---

# Escalamiento y plantas piloto

## Miniplantas uso y diseño



**Planta Procesadora de Jugo  
Naturista**

**PROYECTO DE ESCALAMIENTO DE  
UNA PLANTA PILOTO PARA  
PROCESAR JUGO NATURISTA A  
NIVEL SEMI INDUSTRIAL**

---

## **INTRODUCCION**

Las miniplantas son usadas para evitar el uso de plantas piloto.

La predicción de resultados es muy precisa aún con grandes factores de escalamiento.

Las plantas a nivel laboratorio son usadas para obtener datos de cinéticas de reacción, de equilibrio L-V ,etc.

La economía es la razón principal para el uso de miniplantas.

Son fáciles de construir,operar y revisar.

Se logran desarrollar mas procesos en menor tiempo y costo.

## **DEFINICION**

Sistema de menor escala para procesos, para generar un producto representativo para su evaluación, e información precisa para el diseño y operación de una unidad a escala comercial. Las miniplantas podrían consistir en solo unos pasos o bien integrar completamente el proceso desde materias primas hasta producto terminado.

Son llamadas también como plantas piloto a nivel laboratorio

Plantas completamente integradas que pueden ser ensambladas y operadas dentro del laboratorio

Debe ser lo suficientemente grande para generar una cantidad representativa de producto.

Debe representar los efectos de pared, puntos muertos y otros problemas relacionados con su estalación en plantas comerciales.

---

## MINIPLANTAS, USO Y DISEÑO

Mini modelos completos incluyendo equipo a nivel laboratorio de plantas comerciales han ido incrementando en su uso, para evitar la instalación de plantas piloto mucho más costosas. La predicción de resultados de plantas comerciales puede ser increíblemente precisa, aun con grandes factores de escalamiento. La siguiente información resalta como una miniplanta es construida, el costo de construcción y operación y que esperar de ello.

En el pasado, el equipo a nivel laboratorio ha sido usado para obtener datos de cinéticas de reacción, equilibrios liquido vapor, etc. Por medio de operaciones batch involucrando uno o dos pasos. Pero ahora, como la exigente utilidad de las compañías químicas es mas rigurosa, procesos alternativos a nivel laboratorio e interacción de procesos complejos han sido estudiados por medio de operaciones continuas de varios pasos. Plantas miniatura están ya siendo construidas y operadas en la etapa investigativa para asegurar información necesaria.

La economía es la razón principal para esto, construyendo y operando una planta miniatura cuesta mucho menos que una unidad piloto. Además las miniplantas son más fáciles de construir, operar y revisar. A través de esto, nuevos procesos son desarrollados en menos tiempo y menor costo que con cualquier otra técnica.

---

## ¿QUE ES UNA MINIPLANTA?

Es el sistema de menor escala para procesos, para producir un producto representativo para su evaluación, e información precisa para el diseño y operación de una unidad a escala comercial. Las miniplantas podrían construir en solo unos pasos, o bien, de integrar completamente el proceso desde materias primas hasta producto terminado.

Las miniplantas han sido llamadas plantas piloto a escala de laboratorio, o bien como plantas completamente integradas que pueden ser ensambladas y operadas dentro del laboratorio. En realidad, la escala de las miniplantas es determinada por la naturaleza del proceso. Por ejemplo, en reacciones de baja viscosidad, los fluidos homogéneos pueden ser estudiados en tubos de diámetro pequeño (incluso de tubos capilares) pero una reacción heterogénea que involucre una mezcla pastosa de sólidos en un fluido viscoso tiene que ser estudiada en un reactor más grande.

La escala de las miniplantas debe ser lo suficientemente grande para producir una cantidad representativa de producto que es analizada para caracterizaciones físicas y químicas, ahora con el uso extenso de cromatógrafos de gases y espectrógrafos de masa (que requieren micro muestras para el análisis), el tamaño de la muestra es un problema menos. Sin embargo, las miniplantas deben ser lo suficientemente grandes para permitir muestreos dentro y fuera de las etapas sin perturbar el estado del proceso.

Una miniplanta debe llegar a un producto que es representativa de lo que una planta comercial va a producir, efectos de pared, localizar puntos muertos y otros problemas relacionados con la escalación deben ser tomados en cuenta ya que pueden tener serios efectos en la calidad del producto.

---

## **DETERMINANDO LA FUNCION**

Esto depende de cual sea el próximo paso a desarrollar en el proceso, si va a guiarse por una planta piloto (y en caso es menos y menos frecuente) entonces la miniplanta es utilizada para seleccionar entre procesos alternativos y producir información de diseño para la unidad piloto. La ventaja aquí es acortar corridas a nivel planta piloto y aprender tanto como sea posible en el mini nivel, y de ese manera minimizar el numero de revisiones que tendrán que ser hechas en una etapa piloto.

Si la planta piloto es omitida y la miniplanta debe ser seguida inmediatamente por semi trabajos de instalación, la miniplanta debe requerir desempeñar un rango mas extenso de servicios tales como comparar procesos alternativos, producir información de diseño, generar información económica y probar varios sistemas de control. Es por ello que una compañía puede hacer uso máximo de sus miniplantas.

## **COSTO DE UNA MINIPLANTA**

Una miniplanta compleja y automatizada puede costar cerca de \$30,000.00 USD, o incluso tanto como \$100,000.00 USD. Los principales costos suelen ser los reactores y los sistemas de control. Los costos de cómputo para adquisición de información en línea no son incluidos.

Tomando en cuenta ambas operaciones y mate3rias primas, los costos de operación pueden llegar a \$500/día inicialmente, dos operadores por turno podrían ser necesarios. A medida de que la operación de la miniplanta se vuelva confiable, puede ser desatendida por uno o dos turnos. Sin embargo así como la mano de obra asignada al proceso disminuye, la mano de obra fijada al análisis generalmente aumenta. Conforme madura un proyecto,

---

aumente la necesidad de análisis comprensivo de condiciones de la miniplanta y del producto.

Debido a su tamaño y flexible construcción, las miniplantas pueden ser revisadas en una fracción de tiempo que tomaría revisar una planta piloto. Las revisiones rápidas no solo ahorran mano de obra sino también agiliza el desarrollo completo del proceso manteniendo tiempos decreciendo casi al mínimo.

Una miniplanta normalmente usa equipo para el mismo tipo de propósito general, el cual debe tener un rango de operación suficientemente explícito para, manejar las condiciones más previsibles. Cuando el uso de miniplantas se torna extensivo, también lo será el suministro de equipo versátil y variado.

## **SEGURIDAD Y MANO DE OBRA REQUERIDA**

A causa de su pequeño tamaño, las miniplantas minimizan el manejo de químicos agresivos, limitando la formación de mezclas explosivas de vapores salientes. La miniplanta al respecto es inherentemente más segura que las plantas piloto o unidades de semi trabajo.

Este aspecto de seguridad ha acelerado exitosamente pruebas para correr miniplantas con un operador por un día, tales unidades sin embargo, deben ser cuidadosamente diseñadas para lograr que sean a prueba de fallas o bien auto protectivas y de esa manera durante el mantenimiento de la planta las personas puedan apagarlas con seguridad en los desmontajes.

Pueden ser llamadas la primera generación de miniplantas, las que contienen muchos controles manuales y requieren atención cercana por parte del operador. Como resultado es menos la información registrada por el operador por el mal funcionamiento de la miniplanta. Sin embargo es durante esos periodos de mal funcionamiento cuando la información obtenida es más útil.

---

La segunda generación de miniplantas requirió un mínimo de atención personal debido al mayor uso de equipo automatizado. Conjuntamente con la facilidad de cambios de personal, sistemas de adquisición de información en línea minimizaron requerimientos de mano de obra y aseguraron que toda la información fuera tomada precisamente a tiempo.

---

### **Comparación de miniplantas con plantas piloto**

---

#### **Ventajas**

- Bajo capital de inversión.
- Más fáciles y rápidas de construir.
- Flexibilidad de empotrado.
- Mínimo de mano de obra operacional.
- Menor tiempo de desarrollo del proceso.
- Menor costo de operación.
- Inherentemente seguras.

#### **Desventajas.**

- Poco producto para evaluaciones de mercado
  - Requieren mayores factores de escalación.
  - Mayor demanda de selección y diseño de equipo.
  - Generalmente sobre diseñadas.
  - Rangos de volumen de superficies muy altos.
  - Esto puede afectar la producción y calidad del producto.
  - Efecto de trata de impurezas frecuentemente difícil de determinar.
- 
-

---

## **BASES DE DISEÑO**

Las decisiones hechas en el diseño de las miniplantas deben ser congruentes con los objetivos del proyecto en general; los objetivos en turno, deben ser completamente definidos en cortas y largas bases termodinámicas.

¿Debe el equipo ser usado solo para verificación experimental de conceptos de diseño y evaluaciones económicas preliminares? Ó ¿Deben las miniplantas ser solicitadas para proveer el preciso y detallado proceso y la información de diseño necesaria para comercialización? Una vez que las demandas lleguen y la miniplanta sea definida, el diseño a detalle puede proseguir.

## **DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**

Establecer el diagrama de flujo de proceso es el primer paso en el diseño de una miniplanta. Diagramas de flujo detallados con diagramas esquemáticos del equipo mayor, líneas de proceso e instrumentación deben ser preparados para varios procesos alternativos.

Los detalles del diseño de equipo son omitidos normalmente debido, en la mayoría de los casos, a que la suficiente información no esta disponible a esta etapa de la investigación. Pero los rangos esperados de temperatura, presión, flujo, etc; debe ser especificada para cada unidad de proceso.

A continuación, os balances de materia y energía son calculados lo mas completo posible, estudios de investigación preliminar, normalmente nos lleva a establecer validez química del proceso propuesto, proveyendo de las bases para el calculo de los balances de masa. Tales balances deben ser sujetos a amplias variaciones durante la operación normal de la miniplanta, ya que la producción y rendimiento pueden variar ampliamente con cambios en líneas de alimentación o en condiciones de operación durante el programa de

---

desarrollo. Sin embargo, los valores mínimos y máximos deben ser estimados para la producción.

Dos tipos de balance de materia son importantes:

- Un balance general que muestra el nuevo flujo de materia dentro y fuera de la planta.
  - Un balance detallado de materia alrededor de un solo equipo u operación individual.
- Balances de calor combinados con balances de materia definen completamente los flujos involucrados en el proceso. Así como con los balances de materia, los balances globales y detallados de energía se requieren.

Si bien los balances detallados de materia y energía no pueden ser completados al inicio del programa de desarrollo, su cálculo indicara información faltante importante a ser obtenida experimentalmente. Esta puede ser entonces determinada si para obtener esa información en el laboratorio o en una miniplanta, y debe hacerse un estimado del costo de obtención de la información faltante. De cualquier forma, el valor de los beneficios de desarrollar la información deseada debe ser significativamente alto que el costo de obtener información.

## **INFORMACION ECONOMICA.**

Debe haber por supuesto, justificación económica para cualquier extensa investigación de procesos o desarrollo de estudios, el diagrama de flujo de proceso junto con los balances de materia y energía, forman una excelente base para la evaluación del potencial comercial del proceso propuesto. Preliminarmente, el estimado desigual de costos con capital de inversión usualmente basado en factorización de costos de equipo mayor, nos mostrara cual proceso es económicamente viable y practico.

La estimación de costos de rutas básicas de proceso y etapas alternativas de proceso produce un incremento en los costos de entre varias situaciones. Tales costos son un importante actor para establecer las rutas de3 proceso preferidas. Además, los estudios

---

definen el costo mayor de los objetos o accesorios, de manera tal que en la investigación y el desarrollo del proyecto puede entonces reducir costos directamente.

### **ALCANCE DE LA MINIPLANTA**

Las decisiones tomadas en la planeación de la miniplanta deben ser consistentes con los fundamentos del proceso y los objetos finales, lo que debe ser una operación práctica y económica de producción en planta. Primero, el diseño debe ser desarrollado para llevarlo a la práctica y controlar las unidades de proceso y operación requeridas. Segundo, se necesita información de procesos para el diseño de la planta piloto o bien hasta escala industrial.

La gran incertidumbre alrededor de la operación propuesta (indicada en el diagrama de flujo) en los nuevos procesos deben de ser definidas y evaluadas para determinar a que factor darse énfasis en el programa experimental. Determinar las variables críticas en las unidades de proceso y operación para un exitoso proyecto el cual va mas allá de previas experiencias, y estas forman las bases para decisiones concernientes a los alcances del proyecto, eso es, cuando la miniplanta va a ser unida o completamente integrada.

Para minimizar tiempo y dinero, una miniplanta debe ser lo más practica y simple como sea posible. Mas frecuentemente, entonces, es diseñada y operada con fines de estudio de una parte compleja de un proceso, generalmente batch o semicontinuo. Las operaciones bien definidas son excluidas. Por ejemplo, rara vez es necesario incluir una operación de destilación continua, ya que existe suficiente información o se puede obtener de trabajo en el laboratorio para habilitar equipo a gran escala y este sea diseñado con muy poco error. Tales operaciones deben ser incluidas en miniplantas solo si son extremadamente necesarias y unen dos etapas del proceso.

Unificar miniplantas es lo mas apropiado para estudiar las variaciones en condiciones de operación de procesos existentes. Para muchos de los procesos, los efectos de cambios en catálisis, condiciones de reacción y alimentación, pueden ser caracterizados de manera precisa con un mini reactor y sus accesorios, los resultados deben ser valorados

---

por análisis. Sin embargo, los efectos de algunos cambios en el tipo y cantidad de productos en operaciones de separación y purificación no deben ser descuidados.

Para nuevos procesos de manufactura de un nuevo producto, pueden requerir una miniplanta completamente integrada, específicamente si la planta piloto quiere ser evitada. Una mini planta completamente integrada es fácil de controlar y por lo general no presentan grandes problemas. Pero para procesos complejos con varios pasos, es muy difícil la construcción y operación de una unidad completamente integrada.

A causa de las complejidades del equipo y un sistema de control coordinado, una gran cantidad de tiempo es necesaria para resolver problemas de cómputo. Sin embargo la planta completamente integrada puede responder a preguntas sobre el nuevo proceso que ningún otro artefacto puede, específicamente si es necesaria una cantidad de reciclaje. La planta integrada puede producir un vasto conocimiento sobre:

- El tipo y cantidad de productos secundarios.
- Los efectos de impurezas en corrientes de reciclaje.
- La naturaleza y efectos de la formación de impurezas de las reacciones que ocurren en operaciones de rescate.

Cuando el reciclaje continuo es llevado a cabo, se requieren una planta integrada para obtener el estado estacionario de la operación. Tales plantas promueven un grado de confianza en la práctica comercial de un proceso dado, o bien, nos lleva a un sondeo de la decisión de abandonar el proyecto.

---

## **PERSONAL CALIFICADO (UNA NECESIDAD)**

Para el personal técnico, una gran cantidad de ingenuidad e imaginación, así como un sólido juicio ingenieril, son necesarios para planear y supervisar programas, interpretar datos y resolver una cantidad de problemas.

En tanto que los operadores estén interesados, ellos deben ser capaces de abordar los numerosos problemas con buen juicio y actitudes prácticas. Los operadores deben confiar en llevar a cabo instrucciones y aun tener suficiente iniciativa y fuerza para una emergencia, mientras que algo de conocimiento técnico es deseable, la experiencia es el factor mas importante. Un operador tal, si continúa informado acerca de los objetivos y progreso del trabajo, es invaluable para obtener información sobre la operabilidad del proceso, e indicar maneras para su mejoramiento.

## **TECNICAS DE OPERACIÓN**

Los objetivos de cada fase de un programa deben ser establecidos claramente antes de iniciar el trabajo y el programa planeado para alcanzar los objetivos de la manera más efectiva. Una calendarización semanal es un método de control efectivo para cada operación propuesta de la semana, pero debe ser posible hacer cambios con poco o ningún aviso. De esta manera, la flexibilidad y respuesta rápida pueden ser mantenidas sin perder los beneficios de la plantación previa.

Un manual de procedimientos detallados escrito para estandarizar operaciones respectivas, listas de revisión preparadas cuidadosamente, pueden evitar o al menos minimizar el pasar por alto algunos simples detalles de rutina. Las listas de revisión son comúnmente usadas para el arranque, permuta y paro.

---

Siempre que sea posible, es deseable tomar medidas en estas listas para la memoria de alguna medición. Un operador probablemente sigue una lista de revisión mas exacta y completamente si debe tomar una lectura que si puede simplemente revisar una declaración. Para ser útiles, las listas de revisión deben ser tan frecuentemente como sea necesario para mantenerlas actualizadas.

El beneficio completo de la miniplanta puede ser obtenido solo si los datos requeridos son tomados propia y exclusivamente. Es importante probar y determinar previamente que datos son necesarios para evaluación precisa del proceso y cálculos de diseño. Estos datos deben ser suplementados con registros detallados de observaciones y dificultades de operación. Tal información puede proporcionar una base para establecer el arranque y procedimientos de operación para una planta comercial.

La respuesta del sistema a perturbaciones proporciona una base para desarrollar técnicas de manejo de disturbios y condiciones de emergencia en la planta grande. Este aspecto del desarrollo del proceso no debe ser omitido sin posibles problemas serios van a ser evitados en la unidad a escala completa.

Los registros detallados de problemas mecánicos proporcionan valiosa información sobre el comportamiento de los diferentes tipos de equipo bajo diferentes condiciones. Esta información frecuentemente prueba ser una valiosa guía en la selección de equipo para futuras miniplantas, así como para la planta de producción.

## **RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS**

Para miniplantas simples, los datos pueden ser registrados en hojas logarítmicas, o llenando los espacios en un bosquejo del equipo o diagrama de flujo. El análisis e interpretación de los datos continúan concurrentemente con su recolección.

Ya que los métodos, manuales no son satisfactorios para procesos complejos con un gran numero de fuentes de datos, es sugerido un sistema de adquisición de datos y calculo.

---

Existen sistemas de varios grados de sofisticación, los cuales acoplados con diseño experimental estadística y análisis pueden mejorar grandemente la eficiencia experimental. Entonces, los costos del desarrollo del proceso y el tiempo de finalización del proyecto pueden ser reducidos mientras se amplían las capacidades experimentales.

La economía del proyecto debe ser reevaluada cada vez que los resultados experimentales sugieren un cambio significativo. Esto sirve para dos propósitos, primero, indica la factibilidad económica continua del proceso. Segundo, muestra que la información es todavía necesaria para el diseño de la planta final, y áreas críticas deben sobrellevar el énfasis de investigación.

## **GENERALIDADES**

La industria química se ha convertido en uno de los sectores industriales mas importantes del país y esta basada en la ingeniería de proceso y una de las actividades principales es la dimencionalizar el equipo mayor involucrado en el proceso.

Equipos tales como reactores químicos, columnas de destilación, columnas de absorción, intercambiadores de calor, etc.

Para dimencionalizar este equipo se puede utilizar 2 métodos generales:

1. **SELECCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPO:** Este método incluye la selección del equipo de fabricación estándar así como aquel que se diseña en base a correlaciones, ecuaciones de diseño, etc.
2. **ESCALAMIENTO DE DATOS PILOTO:** Este método implica dimencionalizar el equipo mediante el uso de ecuaciones de escala que resulta comparar el sistema industrial y el de el sistema piloto.

---

Para la creación de un proceso químico se deberá cumplir los siguientes ocho puntos básicos:

1. Selección de una ruta de reacción.
2. Creación y selección del diagrama de flujo básico.
3. Integración del equipo auxiliar.
4. Optimización de los puntos 2 y 3.
5. Definición del equipo de medición de control.
6. Definición del equipo para iniciar operaciones.
7. Diseño del equipo auxiliar y mayor.
8. ingeniería de detalle.

El escalamiento abarca los puntos 7 y 8 que se refieren a la aplicación de técnicas de diseño para definir la planta industrial.

## **PLANTAS PILOTO**

La planta piloto es un elemento necesario para poder hacer el escalamiento, la planta piloto es una unidad pequeña que involucra todos los principios, equipos del proceso industrial que se desea escalar.

El escalamiento es una técnica de diseño para definir un sistema grande a partir de un sistema pequeño. Es decir de una planta piloto se obtienen los datos de diseño necesarios los cuales a través de una técnica adecuada de escalamiento nos sirve para definir la planta industrial.

Las ventajas de contar con un sistema piloto son las siguientes:

1. Permite usar factores de seguridad pequeños en el diseño de una planta industrial.
2. Nos ayuda a minimizar problemas en el arranque de una planta industrial.
3. Permite estudiar los efectos del proceso a largo plazo, por ejemplo el tiempo de vida media de catalizadores, en reactores catalíticos.

- 
4. Permite estudiar problemas de escalamiento por ejemplo el efecto de mezclado en reactores químicos.
  5. Permite aumentar la productividad y eficiencia de la planta industrial.

### **DESVENTAJAS**

1. Retrazan la comercialización del proceso debido al tiempo de su construcción y operación.
2. Cuestan mucho dinero.
3. La planta piloto como generadora de información debe de competir con la:
  - a) Búsqueda bibliográfica.
  - b) Con estudios a nivel laboratorio.
  - c) Con simuladores del proceso.
  - d) Con pruebas cortas en plantas industriales.

### **PRINCIPIO DE SIMILARIDAD**

Es conocido como la relación entre los sistemas físicos de diferentes tamaños y esta es fundamental para el escalamiento de los procesos físicos y químicos.

$$\text{Relacion de escala} = \lambda L = \frac{L_{\text{Industrial}}}{L_{\text{Piloto}}}$$

Tenemos cuatro formas de similaridad que son importantes en ingeniería química.

---

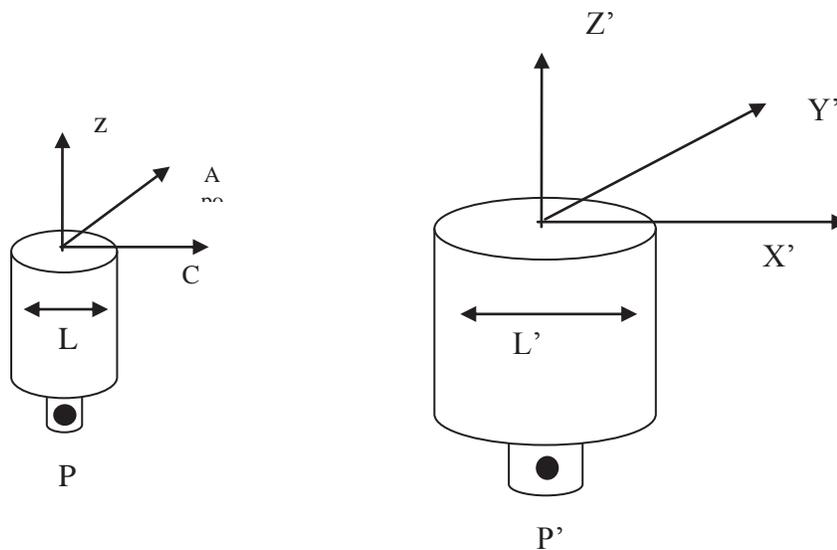
**SIMILARIDAD GEOMÉTRICA**

**SIMILARIDAD MECANICA**

**SIMILARIDAD TERMICA**

**SIMILARIDAD QUÍMICA**

Dos cuerpos son geoméricamente similares para cuando un punto en uno de los cuerpos existe correspondencia con cada punto del otro cuerpo.



MODELO

PROTOTIPO

Entonces:

$$\lambda L = \frac{L'_{\text{Prototipo}}}{L_{\text{Modelo}}}$$

**SIMILARIDAD MECANICA:** Es la relación de las fuerzas actuando en los correspondientes puntos y deberán ser sistemas estrictamente similares.

$$\lambda F = \frac{F'}{F} = \lambda E \quad \lambda L^2$$

Donde:

E = Relación del modelo elástico en el prototipo y el modelo.

L = Es la relación lineal a escala.

$$E = \frac{E'}{E}$$

**SIMILARIDAD TERMICA:** la similaridad térmica se cumple si sistemas similares geoméricamente son sistemas similares térmicamente.

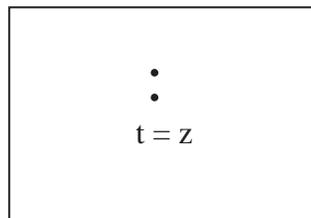
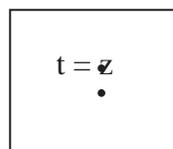
Cuando la diferencia de temperaturas mantiene una relación constante podemos tener la siguiente relación.

$$\frac{H_{\text{radiacion ind}}}{H_{\text{Radiacion pil}}} = \lambda H$$

$$\frac{H_{\text{Conveccion ind}}}{H_{\text{Conveccion pil}}} = \lambda H$$

$$\frac{H_{\text{Conduccion ind}}}{H_{\text{Conduccion pil}}} = \lambda H$$

**SIMILARIDAD CINEMATICA:** Las partículas similares geoméricamente ocupan un espacio proporcional de plantas industriales a plantas piloto en intervalos de tiempo correspondiente.



---

**SIMILARIDAD QUÍMICA:** La similaridad química se mantienen en sistemas térmicamente y geoméricamente y son similares químicamente si las diferencias de concentración mantienen una relación constante y si están en movimiento.

$$\frac{C'_{\text{Concentracion ind}}}{C_{\text{Concentracion pil}}} = \lambda C$$

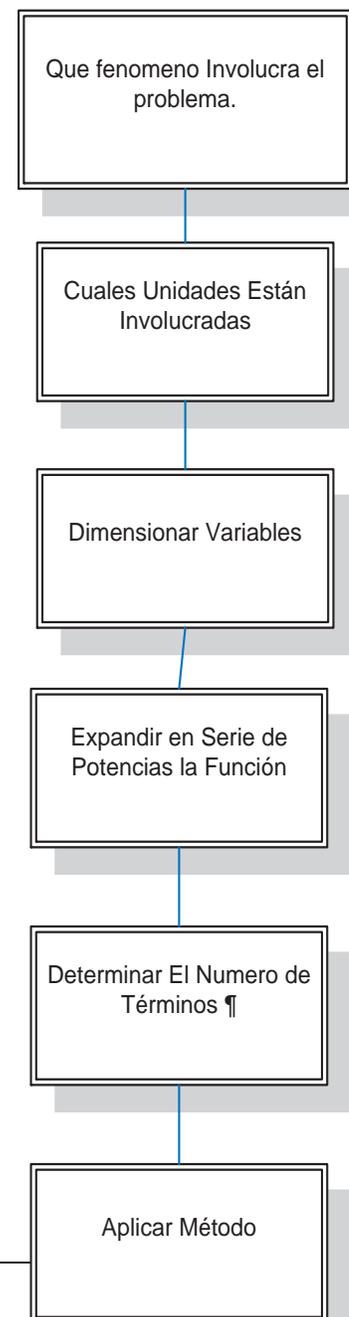
Las relaciones de escala se pueden determinar por medio de grupos adimensionales empleando la similaridad mediante el análisis dimensional y las ecuaciones diferenciales.

### ANALISIS DIMENSIONAL

Es una herramienta matemática que nos sirve en ingeniería para hacer el análisis del comportamiento utilizando el menor número de variables agrupándolas en grupos adimensionales con el propósito de que se cumpla el principio de homogeneidad.

### ANALISIS DIMENSIONAL DEPENDE:

1. Variables físicas.
2. Constantes numéricas.
3. Constantes de conversión.



---

## Los Métodos de Análisis Dimensional

- Método Raleigh.
- Método de ¶ Mejorado.
- Método Secuencial.
- Método Diferencial.

Para la aplicación de ciertos métodos se debe precisar lo siguiente.

---

➤ En el **campo de la mecánica** se aplica, la segunda Ley de Newton:

$$F = Kma$$

$$Fgc = ma$$

$$\text{Donde: } K = \frac{1}{gc}$$

➤ Ley de la **Gravitación Universal**.

$$F = \frac{Gm_1m_2}{d^2} \quad \text{Donde: } G = \text{Constante de gravitación universal.}$$

EN EL CAMPO DE LA TERMODINAMICA

$$Q = mCp\Delta T$$

$$Q = \frac{FL}{J}$$

J: Equivalente Mecánico

VARIABLE	CONSTANTES
F	K
M	G
L	J
Θ	
T	

---

## TEOREMA DE BUCKINGHAM'S O TEOREMA $\Pi$

1. La solución para cada ecuación física dimensionalmente homogénea tiene la siguiente forma.

$$F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots) = 0$$

Solución Similaridad

$$\text{Variable} = (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots) = 0$$

Solución Extrapolación.

2. Si una ecuación contiene variables separadas (N) y constantes dimensionales y estas son dadas en términos de formulas dimensionales y de dimensiones fundamentales en un conjunto completo los grupos  $\Pi$  se obtienen de la siguiente manera:

$$\Pi = N - M$$

Donde N: Variables

M: Dimensiones Fundamentales.

3. En forma rigurosa la parte 2.

$$\Pi = N - r$$

Donde r: Rango de la matriz

M: Dimensiones Fundamentales.

## RANGO DE UNA MATRIZ

Es el orden de una matriz cuadrada cuando el valor de su determinante es diferente de cero.

## MÉTODO DE RALEIGH

- 1.- Enunciar las variables involucradas mediante experimentación preeliminar.
- 2.- Proponer un modelo matemático que relacione las variables.

$$\text{PROBLEMA} = f(X^a, Y^b, Z^c, \dots)$$

Donde: X, Y, Z Son Variables

a, b, c Son Exponentes

- 3.- Definir las dimensiones en las cuales se va a trabajar

M, L,  $\Theta$

F, M, L,  $\Theta$

M, L,  $\Theta$ , T

M, L,  $\Theta$ , Q, T

4.- Se tiene que cumplir el principio de homogeneidad dimensional, las dimensiones del lado izquierdo deben de ser igual a las del lado derecho.

5.- Resolver el sistema de ecuaciones que resulta de la formación de las dimensiones fundamentales.

6.- Agrupar los términos para obtener los grupos adimensionales.

### EJEMPLO

Determinar los grupos adimensionales que afectan la caída de presión en una tubería que va un fluido en el sistema de dimensiones M, L,  $\Theta$ .

$$\Delta P = \left[ \frac{F}{A} \right] = \left[ \frac{M \cdot a}{A} \right] = [ML\theta^{-2}L^{-2}] = [M\theta^{-2}L^{-1}]$$

$$D = [L]$$

$$v = [L\theta^{-1}]$$

$$\rho = [ML^{-3}]$$

$$\mu = [ML^{-1}\theta^{-1}]$$

Aplicando el principio de Buckingham

$$\Delta P = (D)^a (L)^b (v)^c (\rho)^d (\mu)^e$$

$$[M\theta^{-2}L^{-1}] = (L)^a (L)^b (L\theta^{-1})^c (ML^{-3})^d (ML^{-1}\theta^{-1})^e$$

Exponentes a fijar = Exponentes a determinar – dimensiones fundamentales
--

Sistemas de ecuaciones:

M	1=d+e
---	-------

L	-1=a+b+c-3d-e
Θ	-2=-c-e

Resolviendo

e=1-d
c=-1+d+2=1+d
b=-1-a+d

$$\Delta P = (D)^a (L)^{-1-a+d} (v)^{1+d} (\mu)^{1-d}$$

$$\Delta P = \left(\frac{v\mu}{L}\right)^1 \left(\frac{D}{L}\right)^a \left(\frac{Lv\rho}{\mu}\right)^d$$

**SOLUCIÓN**

$$\frac{\Delta PL}{v\mu} = \left(\frac{D}{L}\right)^a \left(\frac{Lv\rho}{\mu}\right)^d$$

$$\Pi = N - M = 6 - 3 = 3$$

**SOLUCIÓN PARA EXTRAPOLACION**

$$\frac{\Delta P}{v^2 \rho} = \left(\frac{D}{L}\right)^a \text{Re}^{\gamma}$$

### MÉTODO DE LA MATRIZ O ¶ MEJORADO

1. Toda cantidad física puede expresarse por un numero de variables  $n_f$  y numero de constantes dimensionales  $n_c$  los cuales pueden determinarse o representarse en términos de un numero de dimensiones primarias  $n_d$ .
2. Para determinar las variables incompatibles o de grupo  $n_i$  se les llama así porque de cualquier forma que se conviven no forman grupos adimensionales, generalmente se procede que el numero de variables independientes  $n_i \leq n_d$ .
3. El número de variables  $n_f$  es igual al número de variables dependientes más el número de variables independientes.

---

$$n_f = n_v + n_i$$

4. No. De grupos Adimensionales =  $n_{\Pi} = (n_f + n_c) - n_i$ .

$n_c$  = Numero de constantes dimensionales.

5. Se toman los grupos  $\Pi$  y se resuelven por el método de Raleigh.

$$\Pi_1 = A^a B^b C^c X$$

$$\Pi_1 = A^a B^b C^c Y$$

$$\Pi_1 = A^a B^b C^c Z$$

Donde: A, B, C,  $\rightarrow n_i$

X, Y, Z,  $\rightarrow n_v$

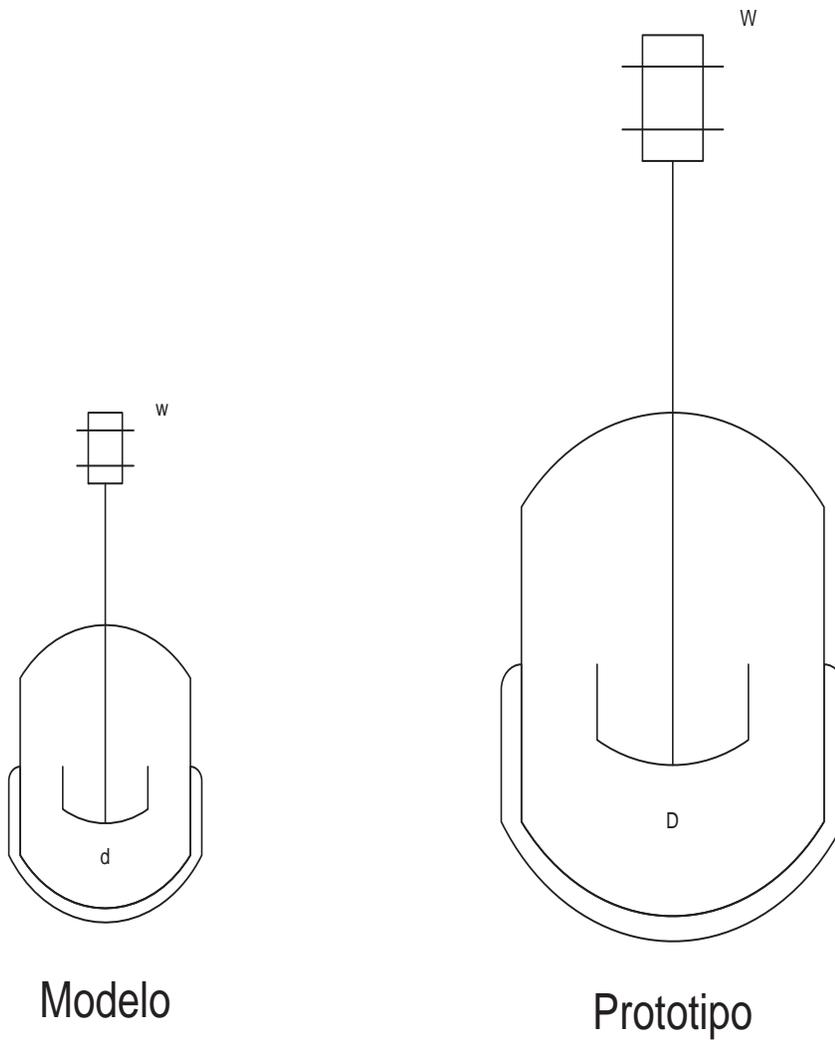
## MÉTODO SECUENCIAL

1. Se mencionan las variables del proceso.
2. Se propone modelo matemático que relacione las variables.
3. definir el sistema de dimensiones en el cual se va a trabajar.
4. Eliminar secuencialmente cada una de las dimensiones fundamentales.

---

## TEORIA DE LOS MODELOS

En el diseño y prueba de equipo grande que se relacione con el flujo de fluidos se acostumbra construir modelos pequeños geoméricamente semejantes a los prototipos grande, los datos experimentalmente logrados en el modelo escala se convierten al tamaño normal del prototipo de acuerdo con las necesidades de similaridad geométrica, cinemática y dinámica.



---

**PROYECTO DE ESCALAMIENTO DE UNA PLANTA  
PILOTO PARA CREAR**

Planta Procesadora de Jugo

Naturista

---

## **OBJETIVO**

El presente trabajo tiene como finalidad la de implementar, diseñar, y escalar un proceso de nivel planta piloto a nivel industrial o semi-industrial de una bebida naturista con fines medicinales para el consumo de la población en general.

## **INTRODUCCIÓN**

En nuestros tiempos el tipo de alimentación nos lleva a experimentar medios naturistas para adquirir los nutrientes necesarios para tener una salud estable y una mejor calidad de vida.

En la actualidad las bebidas naturistas que se consumen algunas son perjudiciales, esto es por su alto contenido de azúcares. Uno de los mecanismos que se omiten es el de prever y evitar enfermedades, para esto la bebida naturista cumple una función primordial en el organismo que a su vez combate las enfermedades.

Esta bebida contiene sustancias como: Vitaminas B1, B2, B6, B12, ácido glucónico, y glucorónico que son generadas en el hígado y sirven para mejorar la salud. La producción que se ha tenido a nivel laboratorio se aplicó y distribuyó en la sociedad y esta ha tenido buena aceptación por parte de nuestra sociedad.

Es por esto que nace la necesidad de aumentar a otro nivel de producción donde se tendrá un mejor control de las variables y también como una selección de materiales adecuada para una calidad óptima.

En proceso a grandes rasgos consta de un acondicionamiento de nuestra materia prima a una temperatura de 75 °C seguido de un enfriamiento y posteriormente a una fermentación en un medio de cultivo de un periodo de siete días para posteriormente pasar a una filtración y finalmente su envasado.

---

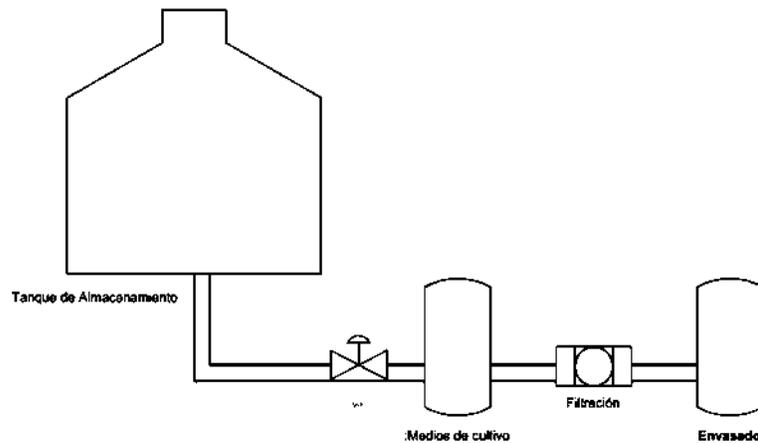
## RESUMEN

A partir de estas relaciones de bacterias y levaduras es el HONGO de nuestra bebida naturista, este proviene del Asia Oriental. Este remedio se utiliza también ya en otros países.

El HONGO está formado de una membrana gelatinosa y de consistencia dura, en forma de disco aplanado, este vive en una solución de nutrientes de té y azúcar, en la que se multiplica constantemente a través de la germinación. El disco del HONGO al principio se esparce en toda la superficie, y después se espesa. Cuando se trata del HONGO correctamente, este crece, germina y acompaña a su propietario toda la vida. Además de su uso como remedio también la podemos utilizar como bebida refrescante.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### Planta piloto



---

## **PROCESO PLANTA PILOTO**

Para la fermentación o el proceso se necesitan estar seleccionada la materia prima, agua, azúcar, Te de Lipton o celestial Seasoning, a una temperatura de 70 °F, y estos se llevan a una fermentación de 30 minutos.

1. Se mezcla agua y azúcar en el tanque de almacenamiento, 80 lts de agua, 20 kg de te, y se le agrega 0.22 kg de azúcar.
2. Se le agrega fuego directo para calentarlo a 75 °C.
3. Ya que este a esa temperatura se enfría hasta 35°.
4. Se pasa a los tanques de cultivo, y estos tanques tienen que ser de vidrio (El hongo no crece con otros materiales de construcción) el número de tanques es de 5, y tienen una capacidad de 20 lts cada uno, el hongo está en función del diámetro del tanque, y el tiempo de residencia es de 7 días con un pH de 3.
5. Posteriormente se filtra en unos tanques con malla de algodón.

finalmente es el envasado (Se realiza a mano, y con diferentes presentaciones)

## **INGENIERIA DEL PROYECTO PLANTA SEMI INDUSTRIAL**

### **RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima, deberá venir a destajo, el transporte es hecho de cajas de madera propiedad de la empresa.

### **SELECCIÓN**

La descarga de la materia prima se realiza en un estero para proceder a su clasificación. Ésta operación es hecha a mano. Las principales causas de rechazo son hojas podridas, no ser del tipo de hojas o de te que se necesita, etc. Su porcentaje de pérdidas es de 10%.

Los rechazos son sacados y los depositan en el camión o en cajas recolectoras y esta la absorbe el proveedor de materia prima.

---

## **ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento de la materia prima debe de hacerse en un lugar fresco de humedad media, de forma que no se forme algún tipo de hongo o bacteria. El almacenamiento no debe prolongarse más de 30 días, en condiciones normales; para el almacenaje son de aproximadamente 25 °C a 35 °C. y este se realizara en cajas de madera.

## **MEDIOS DE CULTIVO**

Los medios de cultivo del hongo se realizan en contenedores de vidrio y se mantiene mediante una fermentación de 7 días.

Durante los procesos de germinación, fermentación y oxidación, el HONGO lleva a cabo diferentes acciones complicadas en la sedimentación del té ya sea una después de otra o de lado a lado. El HONGO de la bebida naturista se alimenta del azúcar y a cambio produce otras sustancias valiosas que cambian dentro de la bebida, estas son: acido glucurónico, ácido láctico, vitaminas, aminoácidos, sustancias antibióticas y otros productos. Por lo tanto el HONGO de la bebida naturista es una fábrica bioquímica real y pequeña.

## **FILTRACION**

Se realizara la filtración en Filtros NUTSCHE Este tipo de filtros es de los más simples y consiste en un tanque con fondo falso, perforado o poroso, sobre el que se apoya el medio filtrante.

Medio Filtrante: Algodón (Fibras Naturales), que tiene excelente resistencia a los disolventes, a los agentes oxidantes, a los álcalis, a la abrasión, y tiene una temperatura de operación máxima de 210 °F.

---

Nota: el único método un filtro, es tener este a pequeña escala que corresponda a un elemento del tamaño total de la unidad.

## **EMPAQUE**

El producto final es acondicionado en tambores metálicos, los cuales poseen internamente un revestimiento especial de barniz para preservar el producto durante el almacenamiento. Las pérdidas en el empaque son del 1%, debido a fugas al acoplar tambores con tuberías.

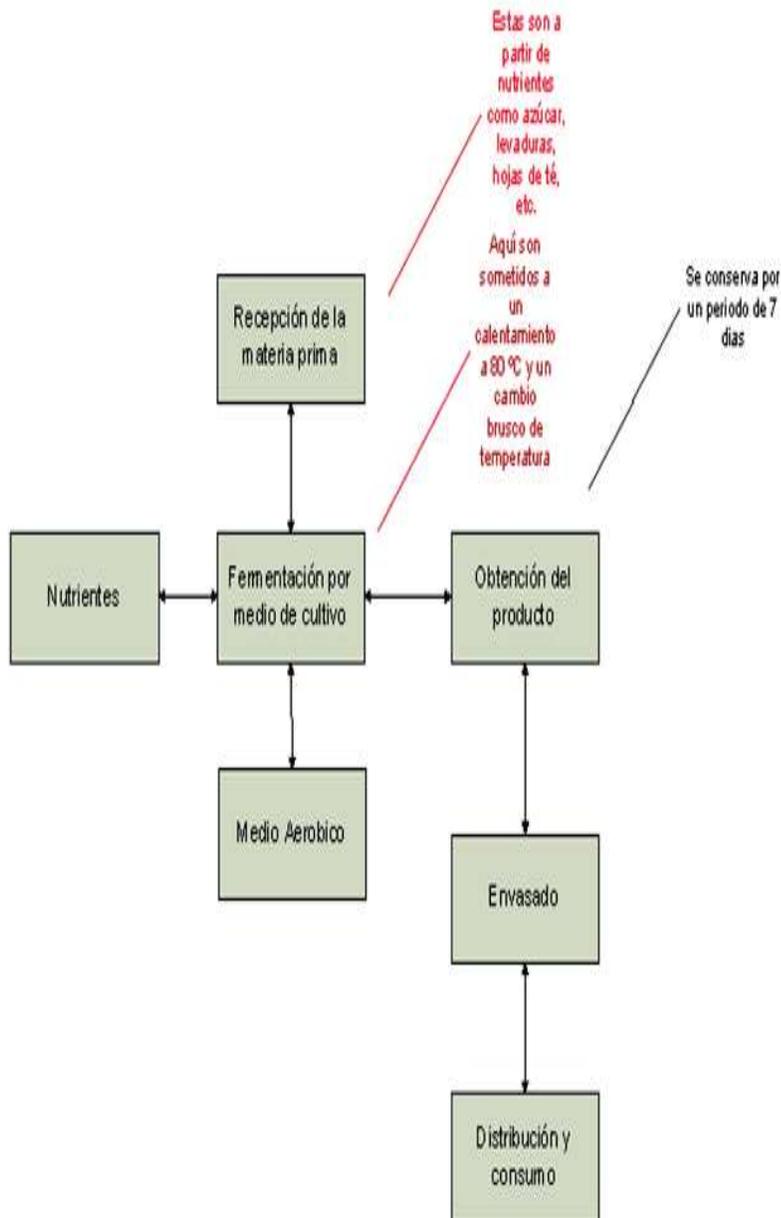
<b>PRESENTACION</b>
<b>Caja con 100 sobres individuales</b>
<b>Frasco con 60 capsulas</b>
<b>Gel Crema 150 gr</b>
<b>Envase con 500 ml</b>
<b>Gotero 10 ml</b>
<b>Atomizador 40 ml</b>
<b>Atomizador 60 ml</b>
<b>Atomizador 80 ml</b>

---

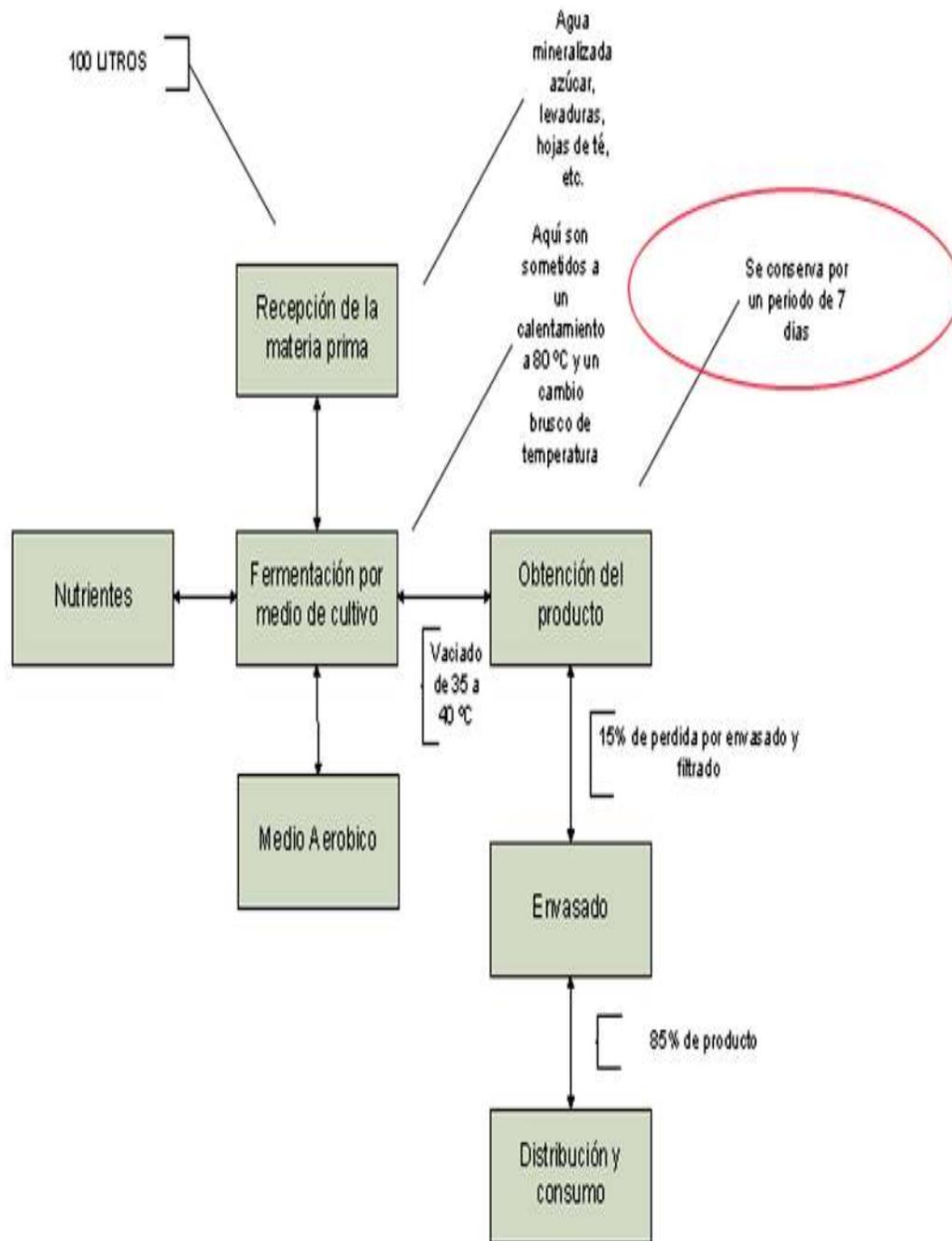
## **ALMACENAMIENTO**

Se debe de tener capacidad de almacenar 30 días de producción, y esta se hará en tambores. Con una temperatura de 25 °C el jugo naturista podrá permanecer almacenado por un periodo de varios años, sin tener pérdidas de vitaminas.

# DESCRIPCION DEL PROCESO (DIAGRAMA DE BLOQUES)



# DESCRIPCION DEL PROCESO (BALANCE DE MATERIA)



# ESCALAMIENTO A PLANTA INDUSTRIAL

## CALCULOS

### TANQUE DE ALMACENAMIENTO

#### POR SIMILARIDAD GEOMETRICAS

$$\text{Suponemos } \left( \frac{D_p}{h_p} \right)_{\text{piloto}} = \left( \frac{D_i}{h_i} \right)_{\text{industrial}}$$

$$\text{Entonces } \left( \frac{D_p}{D_i} \right) = \left( \frac{h_p}{h_i} \right)$$

El escalamiento será 3 veces mayor  $3v = V$  entonces  $v = (1/3)V$

A partir de:

$$V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad \text{Sustituimos ecuaciones es } v = (1/3)V$$

$$\frac{\pi D_p^2 h_p}{4} = \frac{1}{3} \frac{\pi D_i^2 h_i}{4}$$

$$\left( \frac{D_p}{D_i} \right)^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{h_i}{h_p} \right)$$

$$\left( \frac{D_i}{D_p} \right)^2 = 3 \left( \frac{h_p}{h_i} \right) = 3 \left( \frac{D_p}{D_i} \right)$$

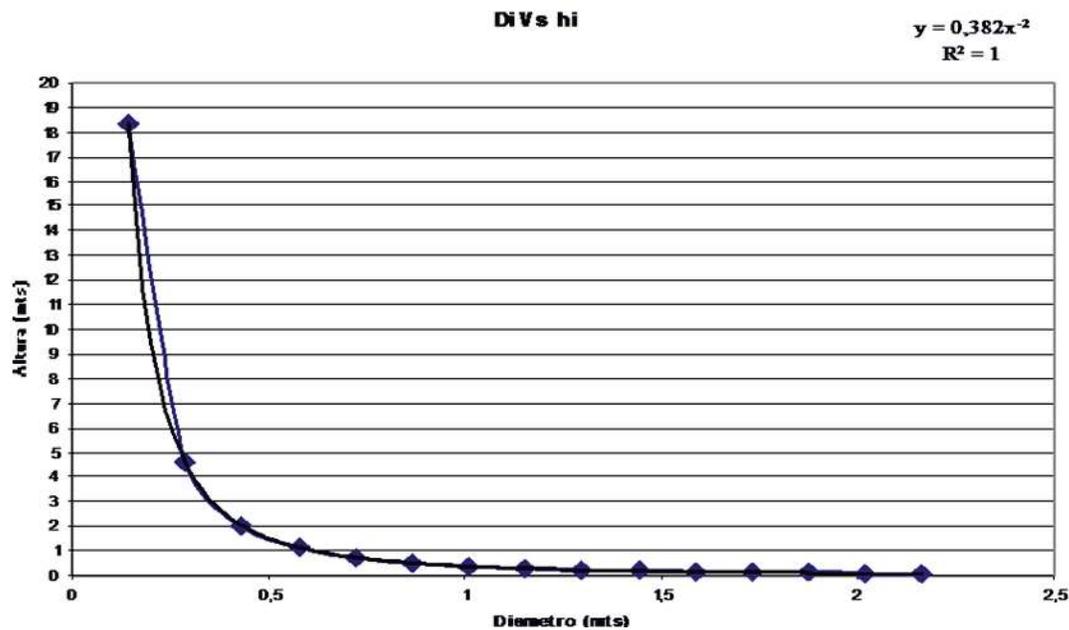
$$\left( \frac{D_i^3}{D_p^3} \right) = 3$$

$$D_i = 1.44225 D_p$$

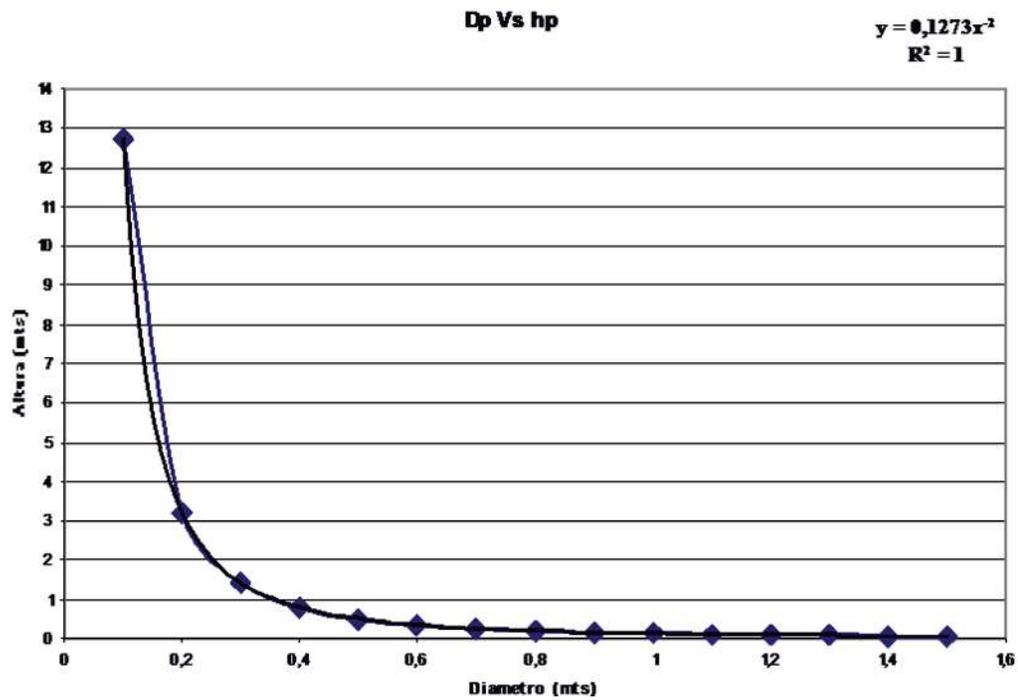
A partir de  $h = \frac{4V}{\pi D^2}$

Diámetro piloto (mt)	Diámetro industrial (mt)	Altura piloto (mt)	Altura industrial (mt)
0,3	0,432675	1,414707297	2,040359776
0,4	0,5769	0,795772855	1,147702374
0,5	0,721125	0,509294627	0,734529519
0,6	0,86535	0,353676824	0,510089944
0,7	1,009575	0,259844197	0,374759959
0,8	1,1538	0,198943214	0,286925593
0,9	1,298025	0,1571897	0,226706642
1	1,44225	0,127323657	0,18363238
1,1	1,586475	0,105226163	0,151762297
1,2	1,7307	0,088419206	0,127522486
1,3	1,874925	0,075339442	0,108658213
1,4	2,01915	0,064961049	0,09368999
1,5	2,163375	0,056588292	0,081614391

Graficando:



Graficando:



Obtenemos las ecuaciones:

➤ modelo industrial  $h_i = 0,382D_i^{-2}$

➤ planta piloto  $h_p = 0,1273D_p^{-2}$

## Tanques de cultivo o fermentadores

### POR SIMILARIDAD GEOMETRICAS

$$\text{Suponemos } \left( \frac{D_p}{h_p} \right)_{\text{piloto}} = \left( \frac{D_i}{h_i} \right)_{\text{industrial}}$$

$$\text{Entonces } \left( \frac{D_p}{D_i} \right) = \left( \frac{h_p}{h_i} \right)$$

El escalamiento será 3 veces mayor  $3v = V$  entonces  $v = (1/3)V$

$$V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad \text{Sustituimos ecuaciones es } v = (1/3)V$$

$$V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad V_p = \frac{\pi D_p^2 h_p}{4} \quad \text{Sustituimos ecuaciones es } v = (1/3)V$$

$$\frac{\pi D_p^2 h_p}{4} = \frac{1}{3} \frac{\pi D_i^2 h_i}{4}$$

$$\left( \frac{D_p}{D_i} \right)^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{h_i}{h_p} \right)$$

$$\left( \frac{D_i}{D_p} \right)^2 = 3 \left( \frac{h_p}{h_i} \right) = 3 \left( \frac{D_p}{D_i} \right)$$

$$\left( \frac{D_i^3}{D_p^3} \right) = 3$$

$$\boxed{D_i = 1.44225 D_p}$$

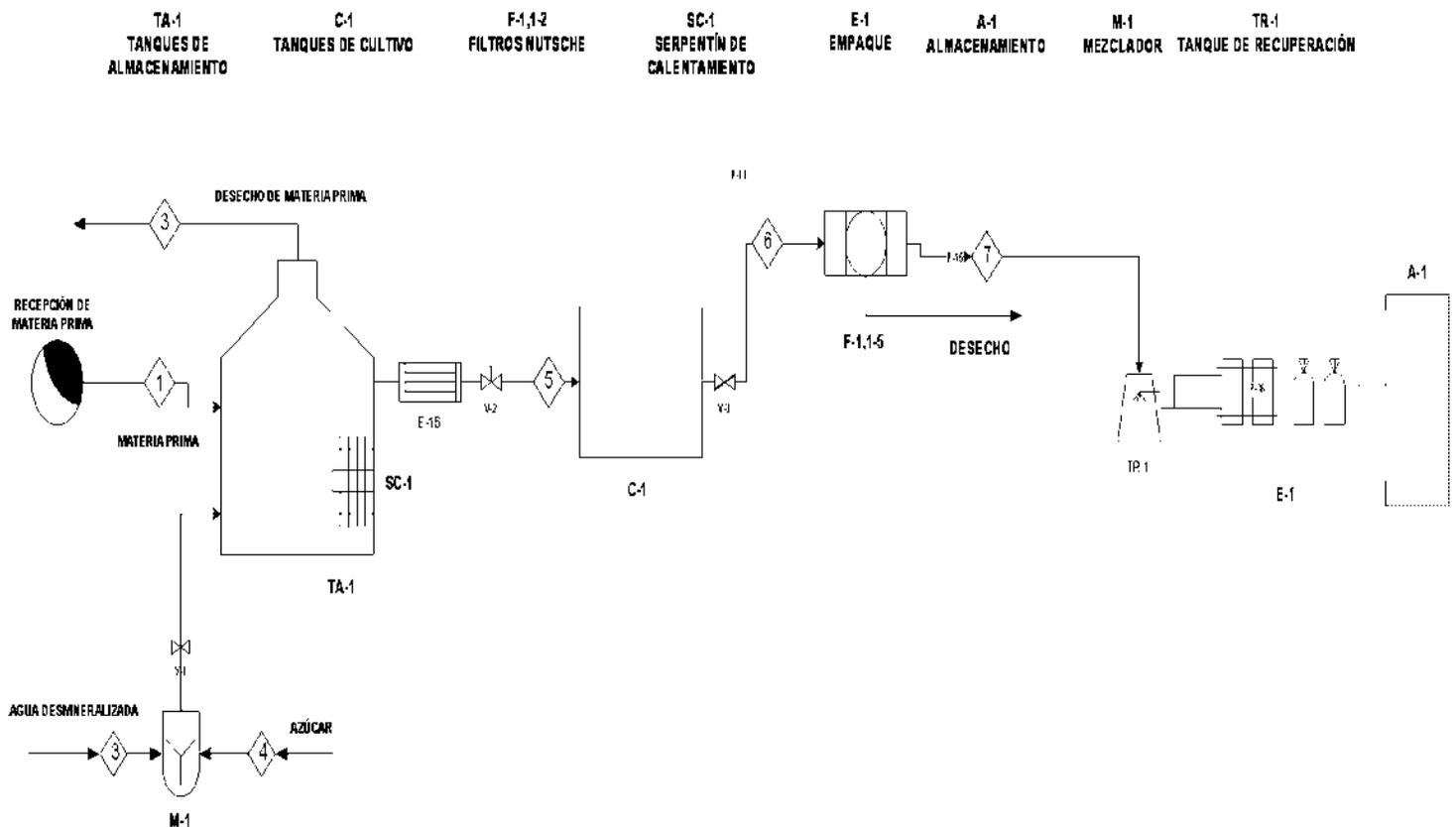
Díámetro piloto (mt)	Altura piloto (mt)	Díámetro industrial (mt)	Altura industrial (mt)
0,9	0,03143794	1,298025	0,226706642
1	0,025464731	1,44225	0,18363238
1,1	0,021045233	1,586475	0,151762297
1,2	0,017683841	1,7307	0,127522486
1,3	0,015067888	1,874925	0,108658213
1,4	0,01299221	2,01915	0,09368999
1,5	0,011317658	2,163375	0,081614391

## TANQUES DE CULTIVO FERMENTADORES

- Numero de tanques 5.
- El diámetro del hongo y su reproducción están en función del diámetro del tanque.
- Volumen = 20 lts.
- TR = 7 días.

Ph = 3

## DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS



---

## RESUMEN

	Planta piloto	Planta industrial
Diámetro del tanque ( $D_T$ )	0.6	0.86
Altura del tanque ( $h_T$ )	0.35	0.51
Tiempo de residencia ( $t_R$ )	7 días	7 días
Diámetro del agitador ( $D_a$ )	1 in	1 in
RPM (N)	600	600
Temperatura (T)	75 °C	75 °C
Tiempo de carga y descarga ( $\Theta'$ )	1 hora	3 horas
Producción (P)	0.1 m <sup>3</sup>	0.3 m <sup>3</sup>

---

## CONCLUSIONES

El proyecto en general fue realizado gracias al escalamiento, ya que a medida que las necesidades de la producción vayan aumentando ya existe un modelo de escalamiento que nos va a permitir jugar un poco con las variables de diseño y con la producción final de nuestra planta.

La finalidad del proyecto fue la de determinar la producción a mayor escala ya que la demanda requería mayor productividad

---

## **BIBLIOGRAFIA**

**1. WALASEK Z.**

**Ed. Acribia**

**Manual de Analisis de Procesos.**

**2. HARALD W. TIETZE**

**Ed. Edutex s.a.**

**Recetas para Preparar Bebidas de Hongo.**

**3. GUNTER W. FRANK**

**Ed. Frazier.**

**Kombu, Bebida Saludable y Remedio Natural del Lejano Oriente,**

**4. TEOH AL, HEARLD G. COX**

**Manual de Microbiologia**

**5. DIPTI P. YOGESH B.**

**Historia y Características de la Fermentación**

---

---