



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautilán

**Instalación y Caracterización de
un Filtro Rotatorio al Vacío**

T E S I S
Para Obtener el Título de:
INGENIERIA EN ALIMENTOS
P r e s e n t a
María Guadalupe Gutiérrez Carbajal

Asesores: **ING. ABEL BLANCAS CABRERA**
ING. FERNANDO BERISTAIN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuautilán Izcalli, Edo. de México

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

El Análisis Y Caracterización de un Título de Grado al Vacío

que presenta la pasante: María Guadalupe Gutiérrez Garbajal

con número de cuentas: 10150121 para obtener el TITULO de:
Unidad de Exámenes

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 14 de Octubre de 1974

PRESIDENTE	<u>Ing. Iván Leopoldo Fuentes</u>
VOCAL	<u>Ing. Fernando Serintain</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Abel Alvarado Salazar</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Rosalva Hernández</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Elena Rodríguez M. Guerra</u>

[Handwritten Signature]
[Handwritten Signature]
[Handwritten Signature]

**A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS QUE SIEMPRE
ESTARAN CONMIGO POR SU GRAN CARIÑO Y EL
APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON, PARA
LOGRAR TODOS MIS PROPOSITOS.**

**CON TODO MI CARINO Y RESPETO A MI MADRE
POR SU ENTEREZA FRENTE A LA VIDA PARA
SACARME ADELANTE**

**A MIS HIJOS: NAYELI Y MIGUEL ANGEL QUE ME
IMPULSAN PARA SEGUIR ADELANTE**

**A MI COMPAÑERO Y AMIGO MARTIN POR SU
AMOR Y APOYO EN TODO MOMENTO.**

**A MIS COMPAÑEROS Y PROFESORES QUE
SIEMPRE ME BRINDARON SU ENTRAÑABLE
AMISTAD.**

**A TODAS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA
MANERA HICIERON POSIBLE LA REALIZACIÓN
DE ESTE TRABAJO.**

INDICE

OBJETIVOS	1
RESUMEN	3
INTRODUCCION	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO	6
1.2.1 SEDIMENTACION	6
1.2.2 CENTRIFUGACION	6
1.2.3 FILTRACION	7
1.3 FILTRACION	7
1.3.1 IMPORTANCIA DE LA FILTRACION	7
1.3.3 CRITERIOS DE SELECCION DE UN SISTEMA DE FILTR.	7
1.4 MEDIOS FILTRANTES	8
1.5 FILTRO-AYUDA	10
1.6 TEORIA DE FILTRACION	12
1.7 FILTRACION CONTINUA	15
1.3.2 FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO AL VACIO	17
2.0 DISEÑO DE LA INSTALACION	19
2.1 DESCRIPCION DE LA INSTALACION	19
2.2 DESCRIPCION DEL FILTRO ROTATORIO AL VACIO	20
2.3 TANQUE DE RECEPCION DEL FILTRADO	22
2.4 TANQUE DE ALIMENTACION	23
2.5 VALVULAS Y ACCESORIOS	23
2.6 MESA DE TRABAJO	23
2.7 DISEÑO DE LA RED DE TUBERIAS	23
2.8 TUBERIA DE VACIO DEL FILTRO HACIA EL TANQUE RECIBIDOR	24
2.9 TUBERIA DE ALIMENTACION	25
2.10 TUBERIA DE VACIO	26
2.11 BOMBA DE DESCARGA	27

3. CARACTERIZACION DEL FILTRO.LEVADURAS	29
3.1 MATERIALES Y METODOS	29
3.1.1 MONTAJE DEL SIMULADOR PRUEBA DE FILTRACION AL VACIO	29
3.1.2 DETERMINACION DE LA CALIDAD DE FILTRACION	30
3.1.3 DETERMINACION DE LA DENSIDAD	31
3.1.4 DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD	31
3.1.5 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE FILTRACION	31
3.2 FILTRACION DE LEVADURAS	32
3.2.1 DETERMINACION DE MEDIO FILTRANTE	32
3.2.2 DETERMINACION DEL ESPESOR DE FILTRO-AYUDA	36
3.2.3 INCORPORACION DE FILTRO-AYUDA	43
3.2.4 INFLUENCIA DE LA PRESION DE VACIO	46
3.2.5 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE ROTACION	48
3.2.6 INFLUENCIA DEL AREA DE FILTRACION	50
3.3 FILTRACION DE HONGOS	51
3.3.1 COMPORTAMIENTO DEL MEDIO FILTRANTE	51
3.3.2 FILTRO-AYUDA COMO PRECAPA	53
3.3.3 INCORPORACION DEL FILTRO-AYUDA	53
3.3.4 VARIACION DEL% FILTRO-AYUDA EN DOSIFICACION	54
3.3.5 COMPORTAMIENTO CON PRECAPA DE FILTRO-AYUDA	56
3.3.6 INFLUENCIA DE LA PRESION DE VACIO	57
3.3.7 VARIACION DE LA VELOCIDAD DE ROTACION	58
3.3.8 VARIACION DEL AREA DE FILTRACION	59
CONCLUSIONES	61
APENDICE A	64
BIBLIOGRAFIA	67

OBJETIVO GENERAL. Estudiar la operación de filtración de productos biológicos en un filtro de tambor rotatorio al vacío.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A. Diseñar la instalación de tuberías y accesorios necesarios para el funcionamiento de un filtro de tambor rotatorio al vacío.

B. Caracterizar el filtro de tambor rotatorio al vacío

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Señalar el medio filtrante más adecuado para la Filtración de los productos biológicos manejados.

2. Determinar el filtro-ayuda más adecuado para la operación de filtración, así como su manera de utilización.

3. Evaluar la influencia de la presión de vacío sobre la velocidad y calidad de filtración

4. Establecer el área de filtración más adecuada para la operación de filtración.

5. Determinar la influencia de la velocidad de rotación del tambor, sobre la velocidad y calidad de filtrado

6. Comparar los resultados experimentales con los resultados teóricos obtenidos.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo general la instalación y caracterización de un filtro rotatorio al vacío para la separación de materiales biológicos: Hongos y Levaduras.

La primera parte del trabajo plantea una introducción general de separación Sólido-Líquido en particular la operación de filtración, así como la teoría aplicada en un filtro al vacío. Por otra parte se describen los medios filtrantes y filtro-ayudas utilizados en este tipo de operación

Posteriormente se muestra la descripción y criterios de diseños en la instalación, principalmente el filtro: el tanque receptor del filtrado, tanque de alimentación, bomba de vacío y válvulas y accesorios empleados. También se describe la metodología de cálculo en la red de tuberías, considerando como base de cálculo la velocidad recomendada en el diseño de diámetro de tubería; en tanto que para el dimensionamiento de potencia de la bomba de descarga se empleó la Ecuación de Bernoulli o Energía.

Finalmente se llevo a cabo la caracterización de filtro rotatorio al vacío para **LEVADURAS**(*Saccharomyces cerevisiae*) y **HONGOS** (*Streptomyces griseus*)

Se determinaron las condiciones más adecuadas de filtración en cada uno, con las variables siguientes: **Medios Filtrantes, Filtro-Ayuda (en precapa y dosificación), Caída de Presión**. Estas variaciones se realizaron en un simulador para pruebas de filtro al vacío, para después pasar al equipo ya instalado donde se probaron diferentes velocidades de rotación y áreas de sumergencia del tambor.

Los datos experimentales obtenidos en el filtro fueron comparados con los datos teóricos dados por la ecuación general de **Filtración Continua**.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas el avance de la biotecnología a provocado su amplia difusión en diversos sectores productivos como son el farmacéutico, químico, de alimentos, agrícola y energético (1,33,38)

En la producción de materiales biológicos de origen microbiológico se ven involucradas diferentes etapas, para llegar al producto final. Estas etapas comprenden:

- 1.- Investigación básica experimental.**
- 2.- Fermentación**
- 3.- Recuperación**

En la industria de las fermentaciones la etapa de recuperación de productos tiene gran relevancia, es compleja y algunas veces multifacética. Esta etapa además representa en algunos casos porcentajes considerables sobre los costos de producción, por ejemplo en la producción de aminoácidos es el 60% del costo total, en antibióticos es cuatro veces más que el tiempo utilizado para la fermentación (1,34,38). Por estas razones se hace necesario contar con métodos de recuperación adecuados, para reducir costos y tiempos de producción, además en esta etapa se determina la calidad final, traduciendo en valor comercial.

La recuperación y purificación de productos biológicos de origen microbiológico involucra diferentes operaciones unitarias como filtración, secado, cristalización, centrifugación, entre otras. Cada una de estas operaciones tiene su importancia en cada proceso de producción de productos biológicos, haciéndose necesario por

principio optimizar cada una de las operaciones involucradas por separado y después integrarlas en el proceso de producción total.

1.2 Separación Sólido-Líquido.

El problema general de la separación sólido-líquido puede resolverse de diferentes maneras según sea la naturaleza de los sólidos y la proporción en la mezcla que se desea separar.

Las fuerzas utilizadas en los procesos de separación sólido-líquido son las siguientes.

CUADRO. 1

OPERACIÓN	FUERZA INVOLUCRADA
FILTRACIÓN	GRAVEDAD, PRESION, VACIO
SEDIMENTACIÓN	GRAVEDAD
CENTRIFUGACIÓN	CENTRIFUGA

1.2.1 Sedimentación.

La sedimentación como operación unitaria aprovecha la diferencia de densidades para poder separar los materiales. Otros factores que intervienen son la viscosidad, grado de floculación, forma y tamaño de partícula. Este procedimiento se utiliza para clarificar líquidos que contienen partículas mayores a 3 micras y en los cuales no es importante el factor tiempo.

1.2.2 Centrifugación.

La centrifugación se considera una operación que aumenta desde unos cientos hasta unos miles de veces la fuerza dada por la gravedad con lo cual la velocidad de separación de los sólidos es más rápida. Es una operación con un control sanitario adecuado, además permite la separación de sólidos muy finos.

1.2.3 Filtración

La filtración se puede definir como la separación de partículas sólidas en un fluido, ya sea líquido o gas, pasándolo a través de un medio filtrante en donde se depositan los sólidos, en esta operación se utilizan las diferencia de presión para la separación. Se pueden separar suspensiones con alta y baja concentración de sólidos.

1.3. FILTRACIÓN

1.3.1 Importancia de la filtración.

La filtración ha sido usada muy ampliamente en la separación de productos biológicos. En general este tipo de productos son difíciles de filtrar por varias razones, como son: **naturaleza, viscosidad, morfología, tamaño y forma de partícula, naturaleza de la parte insoluble del sustrato residual**, son algunos de los factores que afectan y dificultan la separación de estos productos.

Para llevar acabo la separación de sólidos existen muchos filtros los cuales se clasifican comúnmente por su fuerza impulsora (gravedad, presión y vacío) y por su ciclo de operación (intermitentes y continuos), reuniendo al mismo tiempo varias características. Los filtros más conocidos y utilizados son los siguientes:

Filtro de gravedad: Filtro de arena

Filtros de presión: Filtro Prensa, de Hojas, Cartucho.

Filtro de vacío: Filtro de Discos, Tambor Rotatorio, Horizontal.

1.3.2. Criterios de Selección de un Sistema de Filtración.

1.- Especificaciones del Producto.

- a) claridad del filtrado, tamaño de partícula, y cantidad de filtrado.
- b) sólidos: solubles en la torta y contenidos en el líquido

2.- Propiedades de la Suspensión y la Torta.

a) distribución del tamaño de partícula.

b) masa y volumen de los sólidos en la suspensión.

c) propiedades físicas y químicas: presión de vapor, densidad, corrosividad e interacción con el filtro-ayuda.

d) velocidad de crecimiento de la torta en función de la presión.

3.- Modificaciones de las propiedades de la suspensión.

a) pretratamientos químicos: coagulación y floculación.

b) fragilidad de la partícula y posibilidad de degradación del producto original por bombeo, agitación u otros tratamientos mecánicos

c) espesamiento y/o asentamiento por gravedad.

d) adición de filtro-ayudas

4.- Efecto de la Presión.

a) efecto de la presión de filtrado sobre la porosidad de la torta.

b) efecto de la presión mecánica.

5.- Selección de Equipo.

a) velocidad de producción.

b) limitación debido a las propiedades físicas y químicas.

c) medio filtrante y/o precapa.

d) método de descarga.

6.- Para Filtro Rotatorio.

a) análisis del ciclo.(velocidad de rotación, área de sumergencia y presión aplicada durante la filtración

7.- Diseño y Optimización de la Operación.

1.4 Medios Filtrantes

Un medio filtrante es un material poroso a través del cual pasa un líquido o un gas separándolo total o parcialmente de un sólido en suspensión.

Existe una gran variedad de medios filtrantes(ver el cuadro 2)

estos medios son utilizados dependiendo de el tipo de filtro que se emplea.

CUADRO 2
CLASIFICACIÓN DE MEDIOS FILTRANTES

CUERPOS RÍGIDOS	CERÁMICA, METAL SINTÉTICO
HOJAS NO TEJIDAS	FIELTROS, PAPEL
PLÁSTICO POROSO	MEMBRANAS, LAMINAS
PLACAS METÁLICAS	PLACA PERFORADA Y ALAMBRE TEJIDO
CARTUCHO	ALGODÓN, ACETATO DE CELULOSA POLIPROPILENO
SÓLIDOS SUELTOS	TIERRAS DE DIATOMEAS
TELAS Y TEJIDOS	ALGODÓN Y FIBRAS SINTÉTICAS

FUENTE: MATTEBOM JIM, DIFLAT, 1977.

En la industria metal-mecánica son utilizados los cuerpos rígidos y placas metálicas, que actúan por sí mismos como filtro o coladeras y detienen partículas de gran tamaño, los cartuchos son utilizados para filtros llamados así, filtros de cartucho. Los medios filtrantes de interés en esta tesis son las telas y tejidos también llamadas lonas filtrantes, pudiendo ser sintéticas o naturales, su selección dependerá de los requisitos más satisfactorios para cada operación de filtrado en particular. Este grupo de medios filtrantes es el más grande por su amplia aplicación y por el gran número de variedad presente:

- Naturales o Sintéticos.

- Monofilamentos y Multifilamentos.

- Crudo, preencogido, blanqueado, afelpado, estabilizado al calor y con resinas especiales.

Las principales telas filtrantes son: Algodón, Poliéster, Polipropileno, Acrílico, Orlón, Sarán, entre otros.

El medio filtrante de cualquier filtro debe cumplir los siguientes requisitos.

- 1.- Capacidad para retener los sólidos sobre sus intersticios con rapidez.
- 2.- Mínima capacidad de cegarse.
- 3.- Resistencia mínima al flujo del filtrado.
- 4.- Resistencia a los ataques químicos.
- 5.- Suficiente resistencia mecánica para soportar la presión aplicada.
- 6.- Resistencia aceptable al desgaste mecánico.
- 7.- Capacidad para descargar la torta con facilidad y limpieza.
- 8.- Capacidad para adaptarse mecánicamente al filtro.
- 9.- Costo mínimo.

1.5. FILTRO-AYUDA

Los filtro-ayuda es un material de partículas finamente divididas, duras y fuertes, que cuando están en una torta son incompresibles. Los filtro-ayuda puede utilizarse como precapa o en mezcla con la suspensión en dosificación.

Un filtro ayuda eficiente debe cumplir los siguientes requisitos:

- 1.- Estar constituidos por partículas rígidas porosas y de forma intrínseca.
- 2.- Formar una torta filtrante a la vez que incompresible altamente resistente
- 3.- Ser capaz de separar sólidos muy finos a altas velocidades de flujo.
- 4.- Ser químicamente inertes e insolubles en los líquidos que son filtrados.

En el Mercado Nacional se encuentran principalmente dos diferentes filtro-ayudas: Perlita y Celite, cada una de una casa comercial Almeria y Dicalite respectivo.

El material del que se compone la Celita esta formado por restos de los esqueletos de diminutas plantas acuáticas denominadas **Diatomeas**. Existen diferentes grados de Celite, dependiendo de su proceso de elaboración. Las aplicaciones de Celite se muestran en el cuadro 3

La Perlita es originalmente una roca densa y vidriosa formada por la accion volcánica, es un mineral amorfo compuesto por **silicato fundido de sodio-potasio-aluminio** que se somete a un proceso fisico para la eliminación de materia orgánica y se pulveriza convirtiendola en filtro-ayuda. Dicalite cuentas con diferentes grados de Perlita: 427, 447, 4107, 4187, 4127.

La variedad de usos de la Perlita es muy extensa entre otras destacan las aplicaciones en la fabricación: mieles, aceites, jarabes de azúcar, glucosa, jabón liquido, pinturas, ceras, solventes, pegamentos, antibióticos, ácidos orgánicos, cerveza, vinos, extractos y jugo de frutas.

CUADRO 3
APLICACIONES DEL FILTRO-AYUDA CELITE

GRADO		FILTRO-AYUDA	APLICACIONES
NATURAL		FILTRCEL.	METALES PRECIOSOS, VINAGRE, SEPARACIÓN DE SÓLIDOS ULTRAMICROSCÓPICOS
CALCINADOS		CELITE 505 CELITE 512 CELITE 520 ST. SUPERCEL.	EXTRACTOS ALCOHÓLICOS, SIDRA, JUGOS DE FRUTAS, ADHESIVOS, SUSTANCIAS QUÍMICAS, FARMACÉUTICAS, LEVADURAS Y VINO
CALCINADOS FUNDENTE	CON	HYDROPERCEL CELITE 501 CELITE 503 CELITE 505	ACEITE, GRASAS ANIMALES, JUGO DE FRUTAS, EXTRACTO DE ALGAS, SIDRA, RESINAS, CERAS, ADHESIVOS, DEXTRINAS

FUENTE: FOLLETO, ALMERIA, COMERCIAL 1988

1.6. TEORÍA DE FILTRACIÓN.

La filtración se ha desarrollado más como un arte práctico que como una ciencia. Sin embargo la teoría de filtración recibe hoy en día una gran atención por la industria.

La teoría de filtración es muy útil para interpretar los ensayos de laboratorio y predecir los efectos de las variables en toda la operación, así como para averiguar las condiciones óptimas para llevarse a cabo. No obstante el empleo de la teoría es limitado porque las características filtrantes deben determinarse siempre con las suspensiones a tratar, siendo inaplicables los datos obtenidos de un caso a otro ya que la temperatura, pH, edad de la suspensión y naturaleza intrínseca del material influye en la operación de filtración.

Desde el punto de vista mecánica de fluidos es un sistema de flujo, compuesto por la formación de una torta, esta torta se compone de una masa de sólidos de forma irregular entre las que se forman conductos capilares a través de los cuales fluye el líquido filtrado.

El flujo líquido se considera laminar, entendiéndose por esto, que el flujo en el que la caída de presión es proporcional a la primera potencia de la velocidad de flujo, bajo esta consideración se puede utilizar matemáticamente la Ecuación de Hagen Poiseuille (25,26).

$$dv/dt = [A \mu c(\Delta P)] / R \mu \quad (1)$$

dv = diferencial de volumen (m^3)

dt = diferencial de tiempo (seg.)

A = área de filtración (m^2)

ΔP = diferencia de presión ($kg./m^2$)

g_c = constante gravitacional (9.81 kg-m/kg-seg²)

R_m = resistencia del medio filtrante (m⁻¹)

μ = viscosidad del filtrado (kg/mseg)

La ecuación representa básicamente

$$\text{VELOCIDAD DE FILTRACION} = \frac{\text{FUERZA DE IMPULSION}}{\text{RESISTENCIA}}$$

Sin embargo a pesar de que la resistencia del lecho es proporcional al espesor de la torta, las características del lecho tales como el tamaño de partícula, forma de la partícula y fracción de los espacios vacíos en él, afectan a este valor en forma que no es posible utilizar simplemente la ecuación (1). Es más aceptable utilizar una ecuación en que la resistencia del lecho pueda expresarse en función de todas las características que la afectan. En realidad en casi todos los casos prácticos de flujo laminar se aplica la ecuación de Karman Kozeny (25,26).

$$dv/(dtA) = [E^3/k(1-E)^2 S_o] * [g_c(AP)/\mu L - [K g_c(AP)]/\mu L \quad (2)$$

Siendo

E = porosidad de la torta

k = constante de la ecuación.

S_o = superficie por unidad de volumen (m³)

μ = viscosidad del filtrado (kg/m-seg)

L = espesor del lecho (m)

K = constante global de la ecuación.

La ecuación anterior se basa en la suposición de que en el lecho se realiza un empaquetamiento de partículas al azar y también la suposición de que el lecho granular es equivalente a un grupo de canículos paralelos de igual tamaño, sin

embargo no se toma en cuenta la profundidad real del lecho, ya que el camino que recorre no es recto.

A fin de simplificar la ecuación 2 el espesor de la torta (L) puede relacionarse con el volumen de filtrado por medio de un balance de materia.

$$L \cdot A(1-E)\rho_s = w(V + ELA) \quad (3)$$

donde

ρ_s = densidad de los sólidos de la torta(kg/m³)

w = peso de sólidos en la suspensión por unidad de volumen del líquido

V = volumen de filtrado que pasa a través de la torta(m³)

De la ecuación 3 se despeja el espesor de la torta o lecho (L).

$$L = wV / (1-E)A\rho_s \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación 4 en la ecuación 2 queda:

$$1/A(dv/dt) = [(AP) gcE^1] / [k(wV/A\rho_s)(\mu So^2)(1-E)] \dots\dots(5)$$

Siendo la resistencia de la torta (α).

$$\alpha = [k(1-E)So^2] / \rho_s E^1 \quad (6)$$

Sustituyendo 6 en 5.

$$[1/A(dv/dt)] = [(AP) gc] / (\alpha \mu w V / A) \quad (7)$$

El agrupamiento de todos los términos relacionados con las propiedades de la torta implica que es constante para determinada suspensión, pero varía

notablemente entre un material y otro, así como por la caída de presión aplicada; por lo anterior la resistencia específica de la torta debe determinarse experimentalmente para cada material a filtrar.

La ecuación toma en cuenta solamente la resistencia de la torta siendo necesario medir la caída de presión en la torta, lo cual no es fácil, siendo más adecuado medir la caída de presión a la entrada y en la descarga del equipo, siendo esto una caída de presión total $(\Delta P)_t$. Esta pérdida de presión se presenta a través del medio filtrante y también incluye las pérdidas de presión por líneas de alimentación y descarga del filtrado, además por el paso a través de la torta.

Si utilizamos la caída de presión total en una ecuación similar a la ecuación 7 se transforma en:

$$(dv/dtA) = [(AP)_t \text{ gc}] / \mu((\alpha wV/A) + R_m) \quad (8)$$

donde R_m = resistencia del medio y tuberías de flujo.

$(\Delta P)_t$ = caída de presión total.

Siendo esta ecuación general aceptada en la teoría de la filtración a caída de presión constante.

1.7. FILTRACIÓN CONTINUA

Las condiciones que existen en un filtro rotatorio al vacío durante la deposición de la torta son aproximadamente las consideradas durante la filtración con caída de presión constante, por lo cual la ecuación 8 se integra en base a estas condiciones.

En las ecuaciones generales de filtración continua la resistencia del medio generalmente es despreciado, sin embargo cabe señalar que varios autores no aceptan esta suposición(12,25). Suponiendo R_m despreciable la ecuación queda

$$\int_0^t dt = [(w\mu\alpha)/(A gc(AP))] \int_0^V V dv \quad (9)$$

integrada

$$t = [(w\mu\alpha)/(A gc(AP))] (V^2 / 2) \quad (10)$$

siendo t el tiempo requerido par la formación de la torta. En un filtro rotatorio al vacío t se puede definir como $t = f t_c$ (11)

donde

f = fracción del ciclo correspondiente a la formación de la torta

t_c = tiempo en el que el tambor completa un ciclo.

Sustituyendo la ecuación 11 en 10 queda:

$$f t_c = (\alpha w \mu V^2) / (2 A^2 g c (AP)_t) \quad (12)$$

Reordenando los términos

$$V^2 / (A^2 t_c) = (2 g c (AP)_t f) / (\mu W \alpha) \quad (13)$$

$$V / (A t_c) = [(2 g c (AP)_t f) / (\mu w t_c \alpha)]^{1/2} \quad (14)$$

para tortas compresibles α varia con la presión.

$$\alpha = \alpha_0 (AP)^s \quad (15)$$

siendo s el índice de compresibilidad de la torta.

$$V / (A t_c) = [2 g c (AP)^{1-s} f] / (\mu w t_c \alpha_0)$$

Quedando la ecuación que representa la filtración continua más aceptada, siendo base para la mayoría de los estudios realizados.

1.8. FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO AL VACÍO.

Este filtro es tratado más ampliamente, ya que es objeto de estudio en esta Tesis.

En 1906 se construyó por primera vez un filtro de tambor rotatorio llamado " De Oliver " dándose con ello un paso importante ya que se pasaba de la filtración intermitente a la continua, lo cual implicaba una reducción en los tiempos de operación, ya que los tiempos muertos por descarga de la torta y lavado eran prácticamente eliminados.

El filtro " De Oliver " consiste en un tambor de superficie acanalada que gira entrando parcialmente en un recipiente que contiene una suspensión; la superficie acanalada esta previamente cubierta con un medio filtrante, debajo de la cual se encuentra otro tambor pequeño. Entre los dos tambores hay dos tabiques radiales que dividen el espacio anular en compartimientos separados los cuales tienen una función específica, conectados cada uno mediante un tubo interno a un orificio situado en la placa rotatoria de la válvula de la cual dispone el filtro.

En términos generales la superficie del tambor se divide en las siguientes zonas de operación:

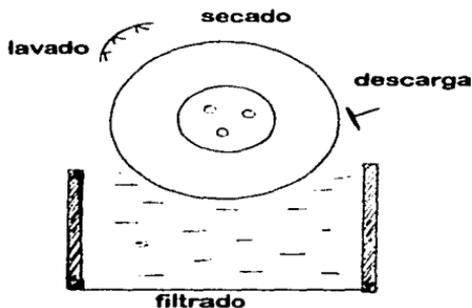
a.- Zona de Filtración: Cuando la superficie que comprende esta zona entra al recipiente de alimentación se aplica vacío y por la diferencias de presión existente, hace que la fase líquida pase a través del medio filtrante hasta el tanque de recepción, el cual se encuentra al vacío, formando una torta con los sólidos retenidos en el medio filtrante.

b.- Zona de Lavado: En esta zona se adapta una serie de espumas, las cuales tienen la función de lavar la torta formada, en esta zona continua la aplicación de vacío.

c.- Zona de Secado: En esta se aplica vacío con la finalidad de secar la torta formada.

d.- Zona de descarga de la Torta: Se distinguen dos pasos en uno de los cuales se sopla aire a presión para desprender la torta y el segunda donde la cuchilla del filtro va raspando parcial o totalmente la torta formada. Este diseño permite que la operación de filtración sea continua

La figura 1 ilustra esta zonas



Las zonas descritas pueden modificarse dependiendo de las necesidades de operación.

El filtro de tambor rotatorio tradicional ha sufrido diferentes mejoras tanto de alimentación como de descarga con el objeto de hacerlo más eficiente.

Entre las modificaciones se encuentran las siguientes:

- 1.- Descarga de Banda.
- 2.- Descarga de Cuerdas.
- 3.- Descarga de Rodillos
- 4.- Alimentación Superior.
- 5.- Alimentación Interna.
- 6.- Precapa.

Los métodos de filtración usados en la recuperación de productos biológicos incluye el Filtro Rotatorio al Vacío en dos modalidades; El filtro rotatorio con Precapa, que es el más ampliamente utilizado en la industria de las fermentaciones y la descarga por cuerdas utilizada para la separación de micelios fúngicos.

El sistema de Precapa se caracteriza por la formación de una capa previa de filtro-ayuda y después se alimenta la suspensión que se desea filtrar, formándose una torta de sólidos sobre la precapa, la descarga consiste en una cuchilla, que elimina parcialmente la torta de sólidos.

El sistemas de descarga por cuerdas en un filtro de tambor, el medio consta de hilos de acero inoxidable embobinada helicoidalmente, colocados en un patrón de tejido de panal en torno al tambor, en posición de descarga las capas de hilo se separan del tambor en forma tangencial pasando sobre los rodillos de descarga de donde se retira la torta por medio de una barra dentada.

2.DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

2.1. Descripción de la Instalación.

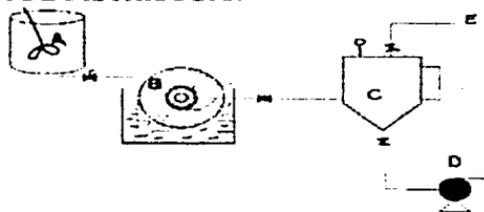
El filtro de tambor rotatorio al vacio se instalo en la UNIDAD DE ESCALAMIENTO DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS , con el propósito que este equipo sea utilizado en pruebas de investigaciones realizadas en este centro de estudio.

La instalación consta de:

- A.-Tanque Alimentación
- B.- Filtro de Tambor Rotatorio al Vacío
- C.- Tanque de Recibidor
- D.- Bomba de Filtrados..
- E.- Sistema de Vacío de la tubería de Alimentación.
- F.- Tuberías de Conexión.
- G.- Válvulas y Accesorios.

en el diagrama A se muestra su distribución

DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN



2.2. Descripción del Filtro Rotatorio al Vacío(13)

El filtro rotatorio al vacío Stockdale tiene las siguientes especificaciones. Esta diseñado para llevar acabo la filtración continua y es capaz de efectuar las siguientes operaciones.

- a. Separación de sólidos y líquidos para producir un filtrado claro.
- b. Secado de sólidos
- c. Descarga de sólidos.

El filtro comprende tambor, tanque de suspensión, válvula rotatoria, sistema de agitación, sistema motriz de rotación, sistema de descarga y tubería de lavado.

El tambor esta formado por 18 compartimentos o paneles separados por tinas divisorias, cada panel esta provisto con tubería que se descarga y carga acoplado directamente a la placa terminal de la válvula rotatoria.

El tanque de suspensión esta fabricado para ajustar las necesidades de sumergencia del tambor, tiene tres niveles de suspensión que representan el 37.5, 32.5, 27.5% del área total del tambor, estos niveles son controlados por un orificio que asegura el nivel constante.

La válvula rotatoria cuenta con una placa de descarga intercambiable colocada entre la placa terminal y el cuerpo de la válvula garantizando un sello eficiente.

El sistema de agitación es estándar de tipo oscilante y cuenta con un sistema motriz independiente. Los elementos de trasmisión se localizan en los extremos del tanque de suspensión.

El filtro cuenta con sistema estándar de descarga de la torta por cuchilla, está es reemplazable.

Las dimensiones generales del equipo son:

Largo Total =50.5 cm

Ancho Total =67.0 cm

Alto Total =66.5 cm

Diámetro del tambor=32.4 cm

Arrea del tambor = 92.9 cm

2.3 Tanque de Recepción del Filtrado.

El tanque receptor de filtrados tiene la función de transmitir el vacío al sistema y de esta manera succionar el líquido hasta él, en donde se va acumulando. Para que no existan problemas en las líneas de vacío este tanque cuenta con indicar de nivel, que cuando el nivel de filtrado es alto se comienza a drenar. Cuenta además con un vacuómetro con una escala 0-76 cm de Hg(0-1atm)

Tiene una capacidad de 20 litros, Altura de 55 cm y un Diámetro de 30 cm, el indicador de nivel es de 20 cm. Este indicador se calibró resultando que cada centímetro lineal representa un litro de líquido filtrado recolectado, el volumen inicial que no es tomado en cuenta por el indicador debido a su diseño es 850 ml.

El material de construcción del tanque es Acero Inoxidable 304. Este tanque fue diseñado junto con el filtro de tambor Rotatorio al Vacío por la Compañía Stockdale, S.A de C.V.

2.4. Tanque de Alimentación.

El tanque de alimentación es un equipo auxiliar, el cual tiene la función de contener la suspensión que se desea filtrar por lo que la capacidad va depender de la cantidad de suspensión a filtrar, debido a las condiciones de la Unidad Escalamiento este tanque no será fijo, ya que hay existencia de varios tanques.

El tanque utilizado durante la experimentación posterior fue un recipiente de una capacidad de 30 litros de fibra de vidrio que es inerte a los productos biológicos manejados, siendo abierto a la atmósfera, para facilitar la agitación con un agitador de propela.

2.5. Válvulas y Accesorios.

Los accesorios en las tuberías son importantes para cambiar la dirección, conectar o reducir el caudal. En la instalación de la red de tuberías fueron utilizadas tes, codos de 90, tuercas unión, reducciones. Las válvulas también fueron instaladas para el control de flujo en la tubería, así como para abrir-cerrar el flujo. Las válvulas empleadas fueron de Bola y Compuerta respectivamente.

2.5 Bomba de Vacío.

Se cuenta con una bomba de vacío de 7.5 HP, la cual alcanza un máximo de 40 cm de Hg de vacío.

2.6 Mesa de Trabajo.

Para manipular con facilidad el filtro de tambor rotatorio así como toda la instalación del mismo, estos se montaron sobre una mesa con una cubierta de acero inoxidable para evitar la oxidación por el uso continuo de agua de lavado. Las dimensiones de la Mesa son:

Largo= 160 cm

Ancho= 120 cm

Alto = 90 cm

2.7 Diseño de la Red de Tuberías.

La red de tuberías de la instalación del filtro rotatorio al vacío se realizó bajo los siguientes criterios:

El diseño óptimo de la tubería, para cada caso depende de los costos relativos de la instalación, de las necesidades requeridas en el transporte de fluidos. En instalaciones pequeñas basta con criterios de velocidades recomendadas, caída de presión y diámetro económico. Estas y algunas otras técnicas empíricas similares han probado ser de gran utilidad práctica.(26)

CUADRO 4
VELOCIDAD RECOMENDADA DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

FLUIDO	TIPO DE FLUJO	VELOCIDAD (m/seg)
Líquido poco viscoso	Gravedad	0.15-0.30
	Entrada a Bomba	0.30-0.40
	Salida de Bomba	1.20-3.00
	Líneas de Conducción	1.20-2.40
Líquidos Viscosos	Entrada a Bomba	0.06-0.50
	Salida de Bomba	0.15-0.60
Gas y Aire		9.00-30.0

Fuente: Mc Cabe, Operaciones Básicas de Ingeniería Química, 1981

2.8 Tubería de Vacío del Filtro hacia el Tanque Recibidor.

Para determinar el diámetro de la tubería se tomaron los siguientes criterios teóricos. (26)

Sabiendo que $Q = V \cdot A$

$Q =$ gasto volumétrico (m^3/seg)

$V =$ velocidad de flujo (m/seg)

$A =$ área de flujo (m^2)

sabiendo que $A = \pi r^2$

siendo $r =$ radio de la tubería

sustituyendo el área queda

$$Q = V \cdot \pi r^2$$

despejando el radio

$$r = \sqrt{Q/V\pi}$$

para obtener el diámetro de la tubería se sabe que $D=2r$

Teniendo en cuenta estas bases teóricas se procede a calcular el diámetro de la tubería siguiendo los criterio de velocidad recomendada (tabla 4)

Para fluidos pocos viscosos la velocidad recomendada es de 1.2 a 2.4 m/seg.

Para el gasto utilizado se tomaron en cuenta trabajos de investigaciones anteriores (39) en los que se maneja 3-80 gal/hr-ft para productos biológicos similares a los que se utilizaron. Para cuestiones de cálculos se tomara el valor máximo.(12,18,21)

$$q = 80 \text{ gal/hr-ft} + 20\% \text{ factor de seguridad}$$

$$Q = 1.0865 \times 10E-4 \text{ m}^3/\text{seg-m}$$

por lo tanto tomando en cuenta el área máxima de filtración de 37.5% que representa 0.0929 m^2

$$r = 2.52 \times 10E-3 \text{ m}$$

$$D = 5.04 \times 10E-3 \text{ m}$$

Como se puede observar el valor de la tubería se ajusta a la tubería de 1/4" (Crane), sin embargo como se observa el rango de gastos volumétricos es muy amplio y demasiado incierto, debido a que depende básicamente de la naturaleza intrínseca del material a filtrar.

La tubería seleccionada fue de 3/8" de acero inoxidable 304 cédula 40. Esta tubería esta conectada con una manguera de plástico rígida, esto tiene la finalidad de que el filtro tenga flexibilidad para su rotación, el diámetro de la manguera es el mismo.

2.9 Tubería de Alimentación.

Para el diseño de la tubería de alimentación se supone que los materiales manejados en la filtración no exceden el 50% en volumen de sólidos por lo cual se toma el mismo gasto volumétrico

$$Q = 1.0865 \times 10E-4 \text{ m}^3/\text{seg-m} + 50\% \text{ de sólidos}$$

$$Q = 1.63 \times 10E-4 \text{ m}^3/\text{seg-m}$$

$$Q = 1.51 \times 10E-5 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Las velocidades utilizadas para cálculos es de 0.11 m/seg que es el valor medio de las velocidades recomendadas (tabla 4), para fluidos viscosos.

Tomando estos datos y siguiendo el mismo procedimiento nos queda:

$$D = 0.0132 \text{ m (0.52 in)}$$

La tubería seleccionada fue acero inoxidable de 3/4" cédula 40

2.10 Tubería de Vacío hacia el tanque.

La tubería de vacío se dimensionó en base a la velocidad recomendada y la caída de presión permisible en las líneas de vacío (37) para distancias cortas de 0.5 in de Hg.

Como el gasto volumétrico manejado es desconocido por iteración se encontró que con el diámetro de 3/4" de acero 2 comercial con una área de flujo de 0.0037 ft² y una velocidad recomendada de 18 m/seg de la tabla 4.

$$Q = 10.91 \text{ ft}^3/\text{min}$$

para obtener el gasto másico

$$W = 1.63 \text{ lb/ft}^3 \text{ a } 76 \text{ cm de Hg.}$$

con este gasto másico y tomando en cuenta la densidad del aire a 45 cm de Hg 0.0101 lb/ft³ (apendice A-10, Crane)

$$Q = 1.61 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Con este gasto y con la caída de presión permitida de 0.5 in de Hg

(0.2456 lb/in) se hizo una interpolación en la tabla del Apéndice B15 del Crane correspondiendo una carga de presión de 0.231 lb/in que coincide con la permisible

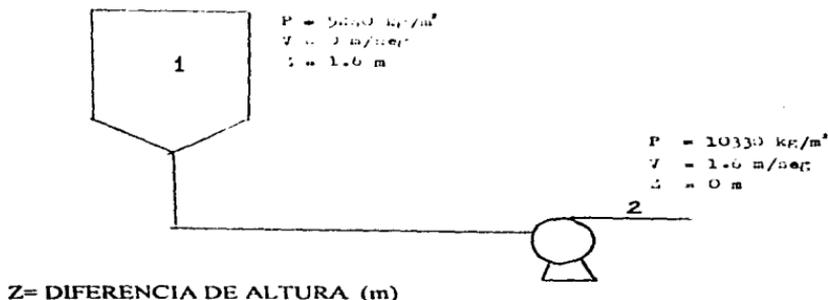
2.11 Bomba de descarga.

La bomba centrífuga son las más comúnmente utilizada debido a su bajo costo inicial, flujo uniforme, mantenimiento económico y posibilidades de manejar fluidos con cierto contenido de sólidos no disueltos.

El dimensionamiento de la bomba se calculó en base a el siguiente diagrama, utilizando la Ecuación de Bernoulli.

Para llevar acabo los cálculos en este balance se tomaron en cuenta las siguiente consideración:

- Se necesita drenar el liquido filtrado del filtro-ayuda lo más rápido posible, para de esta manera evitar que la precapa se desprenda y asi poder comenzar a filtrar el material biológico desecado. Para esto se propuso drenar 2.0 lts/min de liquido de filtro-ayuda.



V= DIFERENCIA DE VELOCIDADES (m/seg.)

H= CAÍDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN (kg./m²)

W= TRABAJO DE LA BOMBA (kg./m²)

El diámetro de la tubería de descarga o entrada a la bomba, tomando en cuenta una velocidad recomendada en la tabla 3 de 0.6 m/seg. siguiendo la misma metodología de cálculo para las otras tuberías se obtuvo un $r= 4.2 \times 10E-3$ m(0.1653 in)

$$D= 0.331 \text{ in}$$

por lo que se utilizara una tubería de 3/8" de acero inoxidable, cédula 40

La tubería de salida de la bomba se calculo tomando en cuenta un velocidad recomendada de 2.1 m/seg.

$$r= 2.25 \times 10E-3 \text{ m}(0.098 \text{ in})$$

$$D= 0.197 \text{ in}$$

se utilizara 3/8" para estandarizar la instalación siendo más práctico y económico, aunque el valor obtenido seria el ideal. Estos datos nos servirán para determinar la caída de presión por fricción la cual se define como:

$$H= (f \ V \ L_e)/(2gcD)$$

siendo f el factor de fricción

L_e la longitud equivalente de tubería (8)

f esta en función del Número de Reynolds, se considera flujo laminar.

$$H=0.988 \text{ kgm/kg}$$

la diferencia de presión del sistema

$$P= 15.4 \text{ Kgm/kg}$$

la diferencia de altura

$$Z(g/gc)= -1.6 \text{ kgm/kg}$$

la diferencia de velocidad

$$V^2 / (2gc) = 0.1304 \text{ kgm/kg}$$

sustituyendo los valores en la ecuación de trabajo (-W)

$$-W = (P/\rho) + (Z/(g/gc)) + (V^2 / (2gc)) + H$$

$$-W = 14.95 \text{ kgm/kg}$$

para determinar la potencia de la bomba se utiliza la formula

$$\text{BHP} = m \times W / E$$

m= velocidad masica kg/seg.

E= eficiencia de la bomba (se considera un 60%)

para cuestiones prácticas además se considera un 20% de seguridad para la potencia de la bomba por lo cual queda

$$\text{BHP} = 0.106 \text{ HP}$$

considerándose una bomba de 1/4 de HP, que era la bomba con la capacidad más cercana con la que se contaba

3. CARACTERIZACION DEL FILTRO ROTATORIO AL VACÍO LEVADURAS

3.1 Materiales y Métodos.

3.1.1. Montaje del Simulador Prueba de Filtración al Vacío.

Material y Equipo.

1. vasija de 3 litros.
2. Embudo Bushner (D= 15 cm)
3. Plataforma Metálica
4. Matraz Erlenmeyer de 2 lts con orificio.
5. Parrilla eléctrica con agitador magnético.
6. Manguera de plástico rígido transparente de 1/8, 1/4, 1/2 in.

7. Vacuómetro de 0-60 cm de hg.

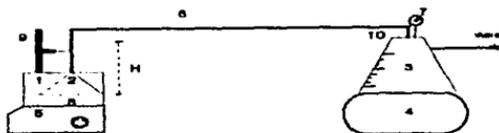
8. Agitador magnético.

9. Soporte Universal.

10. Tapón de Plástico trioradado

11. Cronómetro

El simulador prueba de filtración al vacío se instala de la siguiente manera:



Las pruebas en el simulador de filtración al vacío son importantes ya que permiten calcular los parámetros de resistencia de la torta, resistencia del medio filtrante, así como el índice de compresibilidad de la torta y ayuda a establecer las condiciones de filtración del equipo.

3.1.2 Determinación de la Calidad de Filtrado.

Por calidad de filtrado se entiende como la cantidad de sólidos residuales por cada 100 gramos de líquido filtrado.

La calidad de filtrado se midió de la siguiente manera: se tomaron 10 ml del filtrado obtenido, este se paso a un tubo de Centrifuga Wifug, el cual permaneció una hora a 5700 RPM, después se tomaron los sólidos y se secaron posteriormente

en una estufa de vacío a 50°C, a 20 Hg de vacío, durante 12 horas, se sacan la muestra y se pesa en balanza analítica. Para los cálculos se tomo la densidad del filtrado y se obtuvo la diferencia de pesos en un inicio y al final del secado.

3.1.3 Determinación de Densidad (g/ml)

La densidad se midió tomando 20 ml de líquido filtrado en una probeta graduada, esta probeta se peso seca sin muestra y después con muestra la diferencia de pesos fue dividida entre el volumen pesado.

3.1.4 Determinación de Viscosidad.(cps)

La viscosidad fue medida en un viscosímetro Ostwald, el cual determina viscosidad relativa, utilizando un líquido de referencia (agua). Para obtener la viscosidad de toma en cuenta la siguiente relación:

$$\frac{\mu_{\text{agua}}}{\mu_{\text{filtr}}} = \frac{\rho_{\text{agua}}}{\rho_{\text{filtr}}} \frac{t_{\text{agua}}}{t_{\text{filtr}}}$$

donde

μ_{agua} = viscosidad del agua

μ_{filtr} = viscosidad del filtrado

ρ_{agua} = densidad del agua

ρ_{filtr} = densidad del filtrado

t_{agua} = tiempo que tarda en desalojar el bulbo del viscosímetro el agua

t_{filtr} = tiempo del filtrado.

3.1.5 Capacidad de Filtración.

La capacidad de filtración se define como el volumen de filtrado por el tiempo de filtración y área de filtración.

$$C_f = m^3 / \text{seg. m}^2$$

Esta se obtuvo tomando el tiempo desde el inicio de la filtración con el cronómetro hasta determinado volumen final del filtrado con una área de filtración constante y conocida.

3.2 Filtración de Levaduras.

La levadura utilizada fue Saccharomyces cerevisiae para panificación, marca Leviatan y Flor.

3.2.1. Determinación del medio Filtrante

Se prepararon suspensiones de levaduras al 2, 6, 10 % , la levadura utilizada tenía una humedad del 36% por lo que las concentraciones reales de la suspensión fue de 2.56, 3.84, 6.4% respectivamente.

los medios filtrantes utilizados fueron proporcionados por la Compañía Stockdale S.A de C.V estos son: Poliester 22, Poliester 20 y polipropileno, estos se probaron para determinar el comportamiento en la filtración de levaduras.

Para ello se procedió a instalar el simulador de Filtración al Vacío como se muestra en la fig anterior. Dos litros de suspensión de levadura se colocaron en la vasija con agitación magnética , para lograr una homogeneidad. En el embudo se colocó el medio filtrante correspondiente, sujetándolo con un empaque de hule para evitar su desprendimiento durante la filtración, teniendo esto se procedió a sumergir el embudo invertido en la vasija. Al iniciar la filtración se abrió la válvula de la tubería de vacío hasta una presión de 40 cm de Hg de vacío al mismo tiempo que se acciono el cronometro, para determinar el tiempo para recolectar 1200 ml de filtrado. Cada corrida se repitió 5 veces para tomar un promedio. Para la selección del medio filtrante se tomó en cuenta la capacidad de filtración , la calidad de filtrado, el costo del medio, la maleabilidad, mantenimiento, y disponibilidad en el mercado.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**CUADRO A. CAPACIDAD DE FILTRACIÓN ($m^3/seg\cdot m^2$)
EN MEDIOS FILTRANTES DIFERENTES**

MEDIO/CONC. DE LEVADURA	4%	6%	10%
POLIPROPILENO	0.2829	0.2716	0.1940
POLIESTER 22	0.2612	0.1787	0.1235
POLIESTER 20	0.3253	0.2611	0.2348

**CUADRO B. CALIDAD DEL FILTRADO (g-sólido/100 g de filtrado)
EN LOS DIFERENTES MEDIOS FILTRANTES**

MEDIO/CONC. DE LEVADURA	4%	6%	10%
POLIPROPILENO	1.018	1.521	2.163
POLIESTER 22	0.514	1.535	1.986
POLIESTER 20	1.008	1.340	2.130

Los resultados de calidad de filtrado y capacidad de filtración fueron sometidos a Análisis de Varianza y graficarlos para poder analizarlos más objetivamente

**CUADRO C. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA
CAPACIDAD DE FILTRACIÓN**

	GL	CUADRADO MEDIO	Fc	F(0.05)
MEDIOS FILTRANTES	2	0.005335	7.67	6.94
CONC DE LEVADURAS	2	0.008355	11.9	6.94
ERROR	4	0.000695	---	---
TOTAL	8	---	---	---

$F(0.05) < F$. Por lo tanto existen diferencias significativas entre las medias de los diferentes medios filtrantes y entre las concentraciones de levaduras.

**CUADRO D. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA
CALIDAD DE FILTRADO**

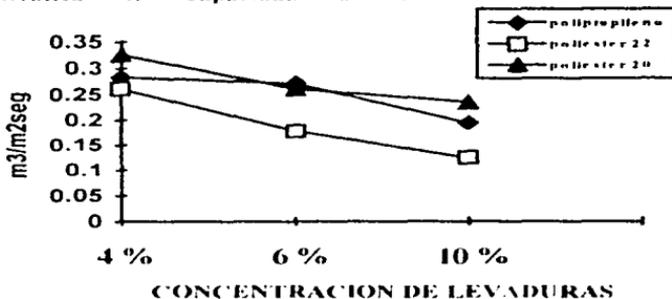
	GL	CUADRAIDO MEDIO	Fc	F(0.05)
MEDIOS FILTRANTES	2	0.03812	1.17	6.94
CONC DE LEVADURAS	2	1.16000	35.9	6.94
ERROR	4	0.03250	---	----
TOTAL	8	----	---	----

$F(0.05) > F$ en cuanto a los medios filtrantes lo cual indica que entre estos no existe diferencias significativos, sin embargo para la concentración de Levaduras $F(0.05) > F$ mostrando diferencias significativas.

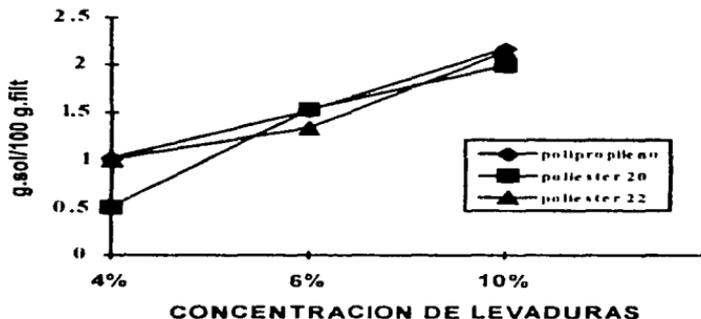
En base a estos resultados arrojados por el análisis estadístico se puede considerar que el más adecuado con respecto a la capacidad de filtrado es la Felpa de poliéster 20; en cuanto a la calidad de filtrado se puede utilizar cualquier medio, sin que se afecte la calidad, sin embargo en cuanto a las características de maleabilidad para el equipo de filtración manejado no es adecuado la felpa de poliéster ya que tiene un grosor grande, lo cual impide una colocación adecuada en el tambor, pero este se podría utilizar en un equipo con dimensiones mayores o para otro tipo de filtros donde no sea importante el grosor del medio,

Por estas limitantes se seleccionó el medio filtrante Poliéster ya que presenta una maleabilidad adecuada, una calidad de filtrado buena, además su disponibilidad en precio es más accesible en el mercado, aunque tiene el inconveniente de presentar una capacidad de filtración menor, como se muestra en las gráficas(1 y2).

Gráfica 1. Capacidad de filtración en diferentes medios



Gráfica 2. Calidad de filtración en diferentes medios filtrantes



3.2.2 Determinación del Espesor de Filtro-ayuda.

Se evaluó de la siguiente manera: El simulador prueba de Filtración al Vacío fue instalado como se muestra, utilizando una suspensión de Levadura del 10%.

Los espesores de Filtro-ayuda en precapa fueron variados(4):

0.5 cm

1.5 cm

1.0 cm

2.0 cm

Los Filtro-ayudas utilizados son:

Dicalite 4127

Celite 512

St, supercel

Celite 520

Celite 505

Constantes

Concentración de Levadura : 10% Presión de Vacío: 40 cm de Hg

Concentración de Suspensión de Filtro-ayuda: 50 g/l

La suspensión de filtro-ayuda se alimento hasta tener un espesor deseado de precapa, esta se realizo con el embudo sin invertir, posteriormente se invirtió para llevar acabo la filtración de la levadura. La filtracion empieza cuando se abre la válvula de vacío, comenzando a tomar el tiempo hasta tener un volumen de filtrado de 600 ml.

Los filtro ayudas utilizados fueron seleccionados de acuerdo a las características reportadas por los proveedores.

Los resultados de capacidad de filtración y calidad de filtrado se presentan en los cuadros E y F respectivamente. En los cuadros G y H se presentan el Análisis de Varianza realizados en cada caso.

CUADRO E. CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (m³/seg-m²) PARA LOS DIFERENTES FILTRO AYUDA Y ESPESORES.

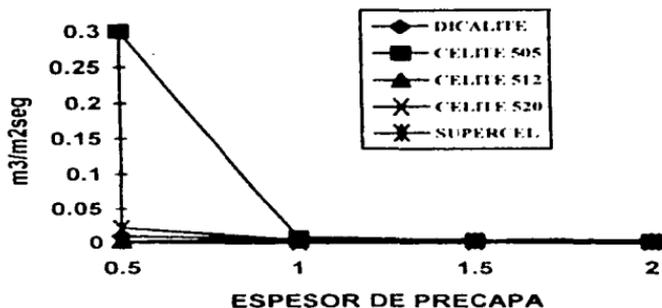
TIPO ESPESOR	0.5	1.0	1.5	2.0
DICALITE	0.0094	0.0052	0.0050	0.0037
CELITE 505	0.3000	0.0082	0.0036	0.0021
CELITE 512	0.0022	0.0035	0.0028	0.0025
CELITE 520	0.0217	0.0024	0.0020	0.0018
ST SUPERCEL	0.0219	0.0044	0.0037	0.0022

CUADRO F. CALIDAD DE FILTRACIÓN (g.sólidos/100g.filtr) PARA LOS DIFERENTES FILTRO AYUDA Y ESPESORES.

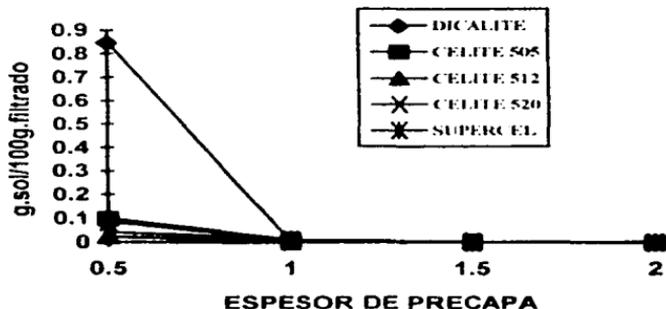
TIPO ESPESOR	0.5	1.0	1.5	2.0
DICALITE	0.850	0.0021	0.0012	0.0003
CELITE 505	0.098	0.0089	0.0035	0.0023
CELITE 512	0.023	0.0020	0.0018	0.0017
CELITE 520	0.085	0.0054	0.0030	0.0026
ST SUPERCEL	0.042	0.0092	0.0020	0.0003

Estos datos se encuentran en la gráfica 3 y 4 que a continuación se presenta.

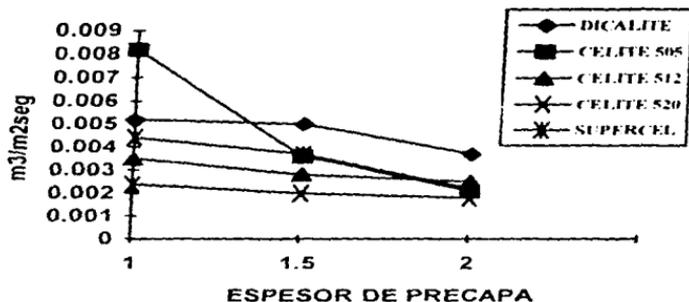
Gráfica 3. Capacidad de Filtración para diferentes filtro-ayuda y espesor de precapa.



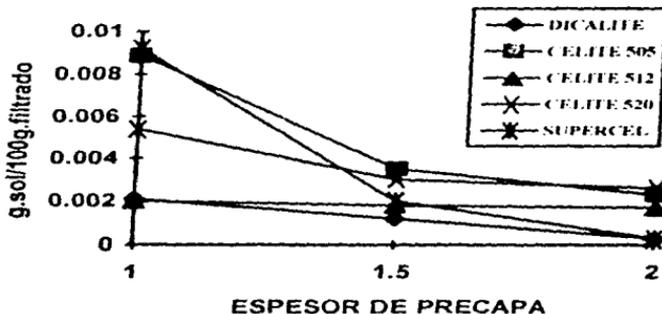
GRÁFICA 4 Calidad de Filtración para diferentes filtro-ayuda y espesor de precapa.



Gráfica 5. Capacidad de Filtración para diferentes filtro-ayuda y espesor de precapa.



GRÁFICA 6. Calidad de Filtración para diferentes filtro-ayuda y espesor de precapa.



datos arrojados en esta etapa experimental fueron evaluados estadísticamente como a continuación se muestra por Análisis de Varianza.

**CUADRO G. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA
CAPACIDAD DE FILTRACIÓN**

	G.L.	CUADRADO MEDIO	Fc	F(0,05)
FILTROAYUDA	4	0.000402	1.1	3.26
ESPESOR F.A	3	0.000200	5.4	3.49
ERROR	12	0.0000374	-----	-----
TOTAL	19	0.0006574	-----	-----

**CUADRO H. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA
CALIDAD DE FILTRACIÓN**

	G.L.	CUADRADO MEDIO	Fc	F(0,05)
FILTROAYUDA	4	0.000305	1.04	3.26
ESPESOR F.A	3	0.005190	19.54	3.49
ERROR	12	0.000266	-----	-----
TOTAL	19	0.005755	-----	-----

Existen diferencias significativas entre el espesor de la precapa sin embargo no existe diferencia para el tipo de filtro-ayuda en los dos casos: de capacidad de filtración y calidad del filtrado cuando se comparan los cuatro espesores experimentados.

Por esta razón se evaluó por el método de Tukey de "amplitud studentizada", aplicable para comparar pares de medias

Dando para la capacidad de filtración los siguientes resultados. PARA LOS FILTRO-AYUDA

HSD	0.01233
X(DICAL)	0.000584
X(C-505)	0.078470
X(C-512)	0.002750
X(C-520)	0.006975
X(ST. CEL.)	0.008050

Con estas medias se evaluó las diferencias que existían entre ellas y que tales diferencias no excedieran el valor de HSD. Encontrándose diferencias significativas entre el Filtro-ayuda Celite 505 con respecto a los otros cuatro filtro-ayudas presentando éste mayor su Capacidad de Filtración.

En cuanto al espesor más conveniente se obtuvieron los siguientes resultados con la prueba Tukey

HSD	0.01281
X(0.5)	0.07104
X(1.0)	0.00474
X(1.5)	0.00342
X(2.0)	0.00247

El espesor de 0.5 cm de precapa presenta diferencias significativas con respecto a los otros tres, sin embargo los espesores de 1.0, 1.5, 2.0 no presenta diferencia significativa entre sí.

En cuanto a la CALIDAD DE FILTRACIÓN se obtuvieron los siguientes resultados con la prueba de Tukey.

Para los cinco Filtro-Ayuda

HSD	0.03290
X(DICAL)	0.02215
X(C-502)	0.02830
X(C-512)	0.007125
X(C-520)	0.02400
X(SI-CF1)	0.01330

Segun la Prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los diferentes filtro-ayuda

Para el Espesor de Precapa se realizo la prueba de Tukey dando los siguientes resultados

HSD	0.03425
X(0.5)	0.0667
X(1.0)	0.0069
X(1.5)	0.0023
X(2.0)	0.00144

No existen diferencias significativas entre los espesores de 1.0, 1.5, 2.0 cm de precapa, sin embargo el espesor de 0.5 cm presenta diferencias significativas con todos los otros espesores siendo este espesor insuficiente ya que deja pasar más cantidad de sólidos en el liquido filtrado, por lo cual este no se considera conveniente.

En base a todos los resultados de Análisis de Varianza y Prueba de Tukey se puede concluir que el espesor, utilizado puede ser cualquiera excepto el de 0.5 cm

de espesor, por lo cual en la etapa posterior se utilizara de 1.5 cm ya que es el espesor medio entre ellos. El filtro-ayuda más adecuado según la prueba de Tukey es el Celite 505, sin embargo cabe aclarar que el valor por el cual se hace evidente la significancia estadística es con un espesor de 0.5 cm en el Parámetro de Evaluación de Capacidad de filtración ya que da un valor muy alto ($0.3\text{m}^3/\text{seg}^2\text{m}$) como se observa en el cuadro E. Por lo cual considerando este valor se podría utilizar cualquier filtro-ayuda

Para la experimentación posterior se utilizo el Dicalite ya que el proveedor ofrecía mayor facilidad para su adquisición, a media escala que era como se iba a utilizar durante la experimentación además de ser el más económico en el mercado.

2.2.3 Incorporación del Filtro-Ayuda en la Suspensión.(Dosificación)

Para aumentar la eficiencia de filtración se probó la incorporación de filtro-ayuda Dicalite 4127.

Variación de la Dosificación (14)

0.5%	1.5%
1.0%	2.0%

Constantes: Filtro-ayuda : Dicalite 4127

Concentración de Levadura : 10%

Concentración de Suspensión de Filtro-ayuda para precapa: 50 g/l

Espesor de Precapa: 1.5 cm

Presión de Vacío: 40 cm de Hg

Medio filtrante : Poliester 22

Con estas condiciones se instaló el Simulador prueba de filtración al vacío, tomándose el tiempo desde que se abrió la válvula de vacío hasta completar 450 ml de filtrado

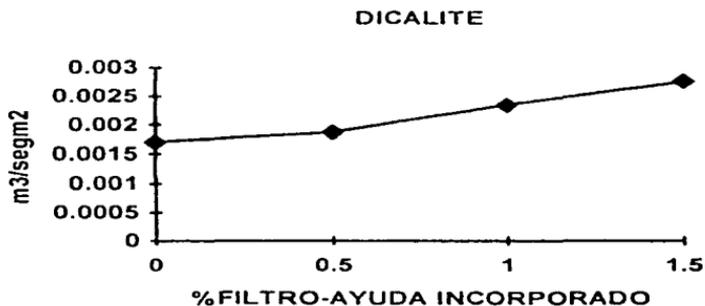
Los criterios de Selección fueron la Capacidad y Calidad de Filtración. Los resultados obtenidos se muestran a continuación

CUADRO I. INCORPORACIÓN DE FILTRO-AYUDA

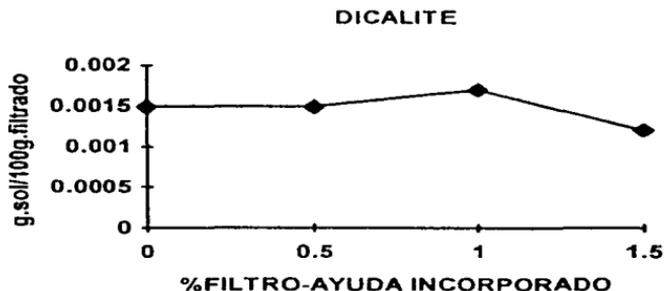
% DICALITE	CAP DE FILTRACION (m ³ /segm ²)	CALIDAD DE FILTRADO (g sol/100g fil.)	% AUMENTO (C)
0	0.00171	0.0015	—
0.5	0.00187	0.0015	8.85
1.0	0.00235	0.0017	17.32
1.5	0.00275	0.0012	33.61

La gráfica 7 muestra la tendencia de la capacidad de filtración en los diferentes porcentajes de filtro-ayuda utilizados, en ella se ve como al aumentar la cantidad de filtro-ayuda aumenta la capacidad de filtración. En la gráfica se muestra como la pendiente de capacidad de filtrado contra tiempo no es muy pronunciada en la incorporación de 1.5 % de filtro-ayuda. Sin embargo la calidad de filtro-ayuda no se ve modificada considerable al aumentar la concentración de filtro-ayuda. El mayor incremento es a 1.5 % con un incremento del 33.61% la capacidad de filtración.

Gráfica 7. Capacidad de filtración a diferentes % de filtro-ayuda incorporado



Gráfica 8. Calidad de filtración a diferentes % de filtro-ayuda incorporado



3.2.4 Influencia de la Presión de Vacío.

Se instaló para este experimento nuevamente el Simulador Prueba de Filtración al Vacío como se describió anteriormente.

Variación de Presión de Vacío,

20 cm de Hg

30 cm de Hg

40 cm de Hg

Constantes

Concentración de Suspensión de levadura: 10 %

Conc. de Suspensión de filtro-ayuda para la precapa 50g/lit

Concentración de filtro-ayuda en dosificación, 1.5 %

Filtro-ayuda utilizado, Dicalite 4127

Medio filtrante: Poliéster 22

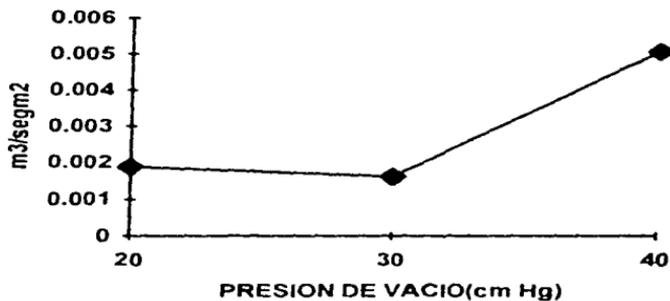
Ya instalado se variaron las presiones de vacío, durante la filtración se tomaron los tiempos por intervalos de 50 ml hasta completar 450 ml de líquido filtrado, para cada presión diferente.

Los datos fueron tabulados en el cuadro J y graficados como capacidad de filtración contra presión de vacío, observándose la influencia de la presión es de manera exponencial. En el cuadro K presenta los parámetros de filtración

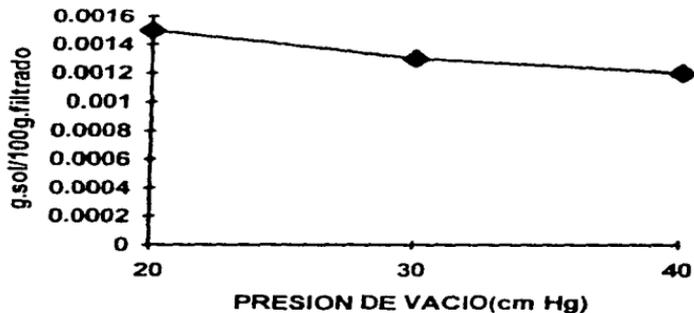
CUADRO J. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE VACÍO

PRESIÓN DE VACÍO (cm de Hg)	CAP. FILTRACIÓN (m ³ /segm ²)	CALIDAD DE FILTRACIÓN (gSOL/100g DE filtrado)
20	0,00188	0,0015
30	0,00162	0,0015
40	0,00506	0,0012

Gráfica 9. Capacidad de filtración a diferentes presiones de vacío



Gráfica 10. Calidad de filtración a diferentes presiones de vacío



Los datos de LOG de AP vs LOG α se graficaron para obtener el índice de compresibilidad (s) siendo este de 0.5321, indicando que la levadura es un material altamente compresible a pesar de la adición de filtro-ayuda.

CUADRO K PARÁMETROS DE FILTRACIÓN AL VACÍO

δ Presión (kg \cdot m ⁻²)	α (m \cdot kg)	log δ ²	log α	Rm (m ⁻¹)
5440	1.26x10 ¹²	3.7386	12.1	6.77x10 ¹¹
4080	1.12x10 ¹²	3.6106	12.05	1.54x10 ¹¹
2720	7.59x10 ¹²	3.4345	11.94	9.72x10 ¹¹

α = Resistencia de la torta

Rm = Resistencia del medio

LOG α = 10.12

S = 0.5321

Coefficiente de regresion lineal = 0.9925

3.2.5 Influencia de la velocidad de Filtración.

Con las condiciones establecidas durante la experimentación en el simulador prueba de filtración al vacío :

Constantes;

Medio Filtrante : Poliester 22

Filtro-ayuda : Dicalite 4127

Suspension de levadura: 10%

Suspensión de filtro-ayuda de precapa: 50g/lr

Filtro-ayuda en Dosificación : 1.5 %

Presión de Vacío: 20 cm de Hg.

Espesor de Precapa: 1.5 cm

Area de Sumergencia : 37.5% del área total del tambor.

Variación de velocidad de rotación del tambor: Escala: 25, 75, 50,100

MODO DE OPERACIÓN DEL FILTRO ROTATORIO AL VACÍO

El filtro instaladot (ver diagrama de distribución) se puso a funcionar de la siguiente manera Primeramente se formó la precapa para lo cual se dosifico la suspension de filtro ayuda hasta el nivel más alto de la tarja.

Posteriormente se abrió la válvula de vacio(1) para establecerlo en el tanque recibidor hasta una presión de vacio de 40 cm de Hg, hecho esto se abrió la válvula que se encontraba a la salida del filtro y entrada de tanque recibidor(2), bajando la presión hasta 20 cm de Hg, bajo estas condiciones se comenzó a formar la pre- capa hasta tener un espesor de 1.5 cm. Formada la precapa se limpia rápidamente la tarja, así como se drena(4) el liquido filtrado con la bomba de descarga y se introduce la Suspension de Levadura-filtro-ayuda, esto debe hacerse muy rapido para evitar que la precapa se compa o caiga. La filtración de levadura comienza cuando se vuelve abrir la válvula 2, en este momento se toma el tiempo hasta recolectar un volumen de filtrado de 2 litros, tomados en el indicador de nivel que fue previamente calibrado. Al finalizar la filtración se cierra primeramente la válvula 2 y posteriormente la valvula 1 y al final la válvula de alimentación de la suspensión (3).

CUADRO I. VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL FILTRO

ESCALA	TIEMPO DEL CICLO (seg)	RPM
25	25	2.4
50	10	6.0
75	8.5	7.0
100	5.0	12.0

Los resultados obtenidos de capacidad de filtración se comparan con los calculados por la fórmula general de filtración continua, para materiales compresibles y a presión constante

**CUADRO M. DATOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES
CAPACIDAD DE FILTRACIÓN ($m^3 / seg m^2$)**

VELOC. DE ROTACION ESCALA	VOL. FILTRADO (m^3)	TIEMPO (seg)	CAPACIDAD EXPERIMENTAL	CAPACIDAD TEÓRICA	% DESVIACION
25	0.00220	449	0.000122	0.000139	12.23
50	0.00125	168	0.000191	0.000213	10.09
75	0.00160	211	0.000208	0.000217	4.03
100	0.00162	190	0.000264	0.000243	8.46

N = 8.70

Las desviaciones promedio de los datos teóricos con los experimentales es de 8.7 %, esta desviación es pequeña si se considera que los factores de seguridad en que se manejan en Ingeniería oscilan entre el 15-20% (37), por lo cual se puede decir que durante la filtración de levaduras se siguió con el comportamiento descrito por la ecuación de la Fórmula General Continua

3.2.6 Influencia de la Área de Filtración.

El funcionamiento del filtro rotatorio al vacío se puso a funcionar como se describió en operación del filtro

Variación de la Área de Filtración:

27.5%

32.5%

37.5%

Constantes

Medio filtrante: Políester 22

Suspensión de Levaduras: 10%

Suspensión de Filtro-ayuda para precapa: 50 g/l

Concentración de Filtro-ayuda en incorporación: 1.5%

Espesor de Precapa: 1.5 cm Presión de Vacío: 20 cm de Hg.

Velocidad de Filtración: 2.4 r p m.

CUADRO N. DATOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

CAPACIDAD DE FILTRACIÓN ($m^3 / seg m^2$)

AREA DE FILTRADO (m^2)	VOL. FILTRADO (l)	TIEMPO (seg)	CAPACIDAD EXPERIMENTAL	CAPACIDAD TEÓRICA	% DESVIACIÓN
0.025	0.0022	694	0.00014	0.000121	14.43
0.030	0.0021	474	0.000113	0.000138	17.8
0.035	0.0022	474	0.000122	0.000139	12.23

$$X=14.82$$

Los resultados de capacidad teórica en comparación con la capacidad experimental presenta una desviación promedio de 14.82 entre ellos, por lo cual entra dentro del rango del factor de seguridad, por lo que se puede considerar y reafirmar que la filtración de la levadura sigue con el comportamiento descrito por la ecuación general de Filtración Continua para materiales compresibles.

3.3 FILTRACIÓN DE HONGOS

Los hongos utilizados en la filtración fueron *Streptomyces griseus* con una concentración de Sólidos del 14.9%.

Se planteó en un principio seguir con la misma metodología que para La Suspensión de Levadura, sin embargo se tuvieron problemas durante la filtración por lo cual se hicieron modificaciones

3.3.1 Comportamiento con el Medio Filtrante

Se probaron los medios filtrantes

Poliéster 22

Poliéster 20

Polipropileno

Constantes:

Presión de vacío: 40 cm de Hg

Concentración de Hongos : 14.9%

Se montó el Simulador de Filtración al Vacío, se colocó el medio filtrante en el embudo y se aplicó la presión de vacío. La capacidad de filtración se calculó para 300 ml de filtrado, pero cabe señalar que todos los medios se obstruyeron rápidamente, y después de este volumen la filtración fue prácticamente nula.

Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

CUADRO N.º CAPACIDAD DE FILTRACIÓN
EN LOS MEDIOS FILTRANTES

MEDIOS FILTRANTES	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (ml/segm ²)
POLIESTER 22	0.0257
POLIESTER 20	0.0185
POLIPROPILENO	0.0360

Se eligió el Poliéster 22 por las características de maleabilidad y disponibilidad en precio y el mercado son las más adecuadas, así como para este equipo en

particular, aunque se recomienda utilizar el polipropileno para otro tipo de filtros donde en grosor del medio no sea problema.

3.3.2 Filtro-Ayuda como precapa.

La precapa de filtro ayuda utilizada fue:

0.5 cm

1.0 cm

1.5 cm

2.0 cm

Filtro-ayudas:

Dicalite 4127

Celite 505

Celite 512

Celite 520

St. Supercel

Constantes.

Presión de Vacío: 40 cm de Hg

Medio Filtrante: Poliester 22

Concentración de hongos : 14.9%

Se monto el simulador de Filtración al vacío con el medio filtrante previamente colocado, bajo estas condiciones la filtración fue nula, no llevándose acabo la separación.

3.3.3 Incorporación del Filtro-ayuda(Dosificación)

Los filtro-ayuda utilizados fueron los mismos que en precapa en una proporción del 10% que es el máximo utilizado, en este tipo de dosificación (40). Se monto el Simulador de filtración al vacío bajo las siguientes condiciones:

Medio Filtrante: Poliéster 22

Presión de Vacío: 40 cm de Hg.

Obteniéndose lecturas de tiempo en 450 ml de líquido recolectado.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

CUADRO O. FILTRO-AYUDA EN INCORPORACIÓN EN LA SUSPENSIÓN DE HONGOS

FILTRO-AYUDA	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (m ³ /segm.)	CALIDAD DE FILTRACIÓN (g. sól./100g. filtrado)
ST. SUPERCCEL.	0,004887	0,98
CELITE 505	0,000732	1,83
CELITE 512	0,000698	1,56
CELITE 520	0,000682	1,35
DICALITE	0,007620	1,07

El filtro-ayuda que presenta una mayor capacidad de filtración fue Dicalite 4127, aunque St. supercel presenta una mayor calidad de filtración, la capacidad es casi la mitad, además el costo de St. supercel es más elevado por lo cual se escogió el primero como el más adecuado.

3.3.4 Variación del % del Filtro-Ayuda en Dosificación.

Seleccionado el filtro-ayuda más adecuado se planteó la necesidad de observar el comportamiento a diferentes concentraciones menores de 10% en mezcla con la suspensión de Hongos, ya que porcentaje parecía muy elevado, además de reducir los costos.

En el simulador prueba de filtración al vacío, manteniendo las siguientes condiciones:

Presión de Vacío: 40 cm de Hg.

Medio Filtrante: Poliester 22

Sin Precapa de Filtro-ayuda

Filtro-ayuda: Dicalite 4127

Variación de concentraciones de Filtro-ayuda

5 0%

10 0%

7 5%

Para esta experimentación se midió el tiempo de filtración total, así como su respectivo volumen total, para determinar de esta manera la capacidad de filtración, se tomó también una muestra de líquido filtrado para determinar la calidad de filtración

los resultados obtenidos se muestran a continuación

TABLA P. INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE FILTRO-AYUDA EN MEZCLA CON LA SUSPENSIÓN DE HONGOS

% INCORPORACIÓN	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (m³/segm²)	CALIDAD DE FILTRACIÓN (g sol/100g de filtrado)
10 0	0,007620	1,07
7 5	0,003784	0,99
5 0	0,000264	0,98

El comportamiento presentado por la adición de filtro-ayuda en la suspensión de Hongos, muestra que a mayor concentración de filtro-ayuda más es la capacidad de filtración debido a que este impide que se formen las redes de micelio que hace que la filtración no se lleve a cabo

Por cuestiones prácticas se considera que la concentración más adecuada fue la del 10% de dosificación de filtro-ayuda ya que presenta una mayor capacidad de filtración, aunque la calidad de filtración es un poco menor.

3.3.5 Comportamiento de la Filtración con Precapa de Filtro-Ayuda.

Debido que la cantidad de filtro-ayuda utilizado en dosificación la capacidad de filtración fue muy baja, se probó poner una precapa del mismo filtro-ayuda con la finalidad de eficientar esta operación

Condiciones

Presión de Vacío -40 cm de Hg.

Filtro-ayuda Dicalite 4127 % de Filtro-Ayuda en Dosificación: 10% Medio Filtrante Poliéster 22.

Variación de Filtro-Ayuda en Precapa

0.5 , 1.0, 1.5 cm de Espesor

La filtración se llevo a cabo en el Simulador Prueba de Filtración al Vacío, con una precapa de Dicalite en las variaciones antes mencionadas. Se tomaron lecturas de tiempo al final de la filtración, así como una muestra de líquido filtrado con el fin de obtener la calidad de filtración

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla Q.

**TABLA Q COMPORTAMIENTO DE LA PRECAPA
DE FILTRO-AYUDA_**

ESPESOR DE LA PRECAPA (cm)	CAPACIDAD DE FILTRACION (m ³ /segm ²)	CALIDAD DE FILTRACION (g sol/100g de filtrado)
0.0	0.007620	1.07
0.5	0.000098	0.92
1.0	0.000068	0.08
1.5	—	—

Como se observa al aumentar el espesor de la precapa la capacidad de filtración disminuye considerablemente hasta ser nula. Por lo cual no es recomendable el

utilizar la precapa de filtro-ayuda ya que no nos ayuda hacer más eficiente la operación

3.3.6 Influencia de la Caída de Presión en la filtración de Hongos.

Para determinar la compresibilidad de la torta formada por la mezcla de Hongos filtro-Ayuda, se procedió a variar la presión de vacío.

Variación de Presión de Vacío

20 cm de Hg

30 cm de Hg

40 cm de Hg

Constantes:

Medio Filtrante: Poliester 22

Filtro-Ayuda: Dicalite 4127 %

Filtro-Ayuda en incorporación: 10%

Se corrió la prueba de variación de Presión en el Simulador Prueba de filtración al Vacío. Se obtuvieron datos de tiempo cada 50 ml de filtrado recolectado, también se tomaron muestras de líquido filtrado y torta formada.

Se Determinaron los parámetros de filtración como se muestra en el Apéndice A, los resultados se muestran en la tabla R

TABLA R. PARÁMETROS DE FILTRACIÓN.

δ Presión (kg/m ²)	α (m/kg)	$\log \delta P^*$	$\log \alpha$	R_m (m ⁻¹)
5340	1.85×10^{12}	3.7386	12.27	6.77×10^{11}
4090	1.83×10^{12}	3.6106	12.26	1.54×10^{11}
3720	1.65×10^{12}	3.4345	12.22	9.72×10^{11}

AP= Caída de Presión.

α = Resistencia de la torta

α_0 = Índice de Compresibilidad

Los datos de logaritmos se encuentran en la gráfica utilizando el método de regresión lineal nos da los siguiente resultado (ver metodología en Apéndice A).

Log α_0 = 11.64

α_0 = 4.36×10^{11}

s = 0.17

Coefficiente de Regresión Lineal(r) = 0.9789

Los resultados obtenidos en esta etapa nos muestra que los sólidos de la suspensión de hongos son altamente compresibles, por lo cual hace difícil la filtración; además de que los micelios obstruyen rápidamente los orificios del medio filtrante impidiendo el flujo del líquido

**TABLA S COMPORTAMIENTO DE LA FILTRACIÓN
DE VACIO A DIFERENTES PRESIONES**

APRESION (Kgm ²)	CAPACIDAD DE FILTRACION (m ³ /segm ²)	CANTIDAD DE FILTRACIÓN (g sol/100g de filtrado)
5440	0.00762	1.07
4080	0.00141	1.03
2760	0.00083	1.06

3.3.7 Variación de la Velocidad de Rotación del Tambor.

Establecidas las condiciones del Simulador al vacio, se paso estas al filtro de tambor rotatorio al vacio instalado previamente.

Velocidades de Rotacion

Escala: 25, 50, 75, 100

Constantes:

Medio filtrante: Poliester 22

Filtro-ayuda en dosificación: 10%

Concentración de Hongo en Suspensión:

Presión de Vacío : 20 cm de Hg.

Área de Filtración: 37.5% del área total.

Se llevo acabo la filtracion bajo las condiciones indicadas variando la velocidad de rotación del tambor obteniéndose los siguientes resultados tabulados en la tabla

TABLA T VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL TAMBOR

ESCALA	RPM	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (m ³ /segm ³)	CALIDAD DE FILTRACIÓN (g. sol/100g de filtrado)
25	2.4	0.00000452	1.10
50	6.0	0.00000576	1.08
75	7.0	0.00000608	1.03
100	12.0	0.00000664	1.07

Durante la experimentacion se observo que a muy alta velocidad de filtración la torta se desprendia, presentando un exceso de humedad, pero también la capacidad de filtración es mayor a esta velocidad teniendo una calidad de filtrado similar que en las otras velocidades, sin embargo en general todas son muy pequeñas.

3.3.8 Variación del Área de Filtración.

Se experimento con diferentes áreas de filtración para ver su comportamiento.

Las áreas variadas fueron:

$$0.02554\text{m}^2$$

$$0.03019\text{m}^2$$

0.03486m²

Las Condiciones que se mantuvieron constantes fueron las siguientes:

Filtro-Ayuda en dosificación 10^{na}

Medio Filtrante Poliéster 22

Presión de Vacío 20 cm de Hg.

Velocidad de Rotación del tambor.

Escala 25

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla U

Durante la filtración se observó que esta no se pudo llevar a cabo de una manera adecuada, ya que la formación de la torta fue nula desprendiéndose del tambor por el exceso de humedad, además que la obtención de volumen de líquido filtrado fue muy escaso.

TABLA U. VARIACIÓN DEL ÁREA DE FILTRACIÓN

NÚMERO DE SUCESOS	ÁREA DE FILTRADO	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN (m ³ /segm.)	CALIDAD DE FILTRACIÓN (g sol/100g de filtrado)
27.5	0.02554	0.00000352	1.07
32.5	0.03019	0.00000386	1.09
37.5	0.03486	0.00000452	1.15

La filtración de este tipo de Hongos en el Filtro Rotatorio al Vacío es ineficiente ya que las caídas de presión logradas en este equipo es insuficiente para poder filtrarlos, además que su morfología lo dificulta aun más, ya que el medio filtrante se obstruye rápidamente por lo cual se cegó fácilmente este, sin llevarse a cabo la separación.

CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo la Instalación y Caracterización del filtro rotatorio al Vacío para Productos Biológicos, principalmente de origen Fermentativo. Para ello se calcularon la red de tuberías necesarias para su funcionamiento así como la bomba de descarga del líquido filtrado y se seleccionó las válvulas y accesorios. En la caracterización se variaron las siguientes condiciones: Medio filtrante, Filtro-Ayuda, Presión de Vacío, Velocidad de Rotación del filtro, Área de Filtración del Filtro.

Después de la experimentación realizada se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- Los criterios de Velocidad recomendada y caída de presión utilizados para el dimensionamiento de las diferentes tuberías fue adecuada, ya que la instalación no presentó problemas durante su funcionamiento.

2.- La bomba de descarga utilizada fue de gran utilidad, ya que drenaba rápidamente el líquido filtrado, lo cual evitaba el desprendimiento de la torta.

3.- El medio Polyester 22 se consideró el más adecuado. Ya que a pesar de que la capacidad de filtración fue la más baja, presentando diferencias significativas, este tiene una mayor maleabilidad y un espesor adecuado para el equipo, además de ser el más accesible. Aunque cabe señalar que para equipos de dimensiones mayores se recomienda utilizar el medio Felpa de Polyester 20 para la filtración de Levaduras.

4.- En el análisis realizado para el espesor de precapa con diferentes Filtro-ayuda se observó que el espesor de la precapa es el factor más importante que el mismo tipo de filtro-ayuda tanto en la calidad como capacidad de filtración, no existiendo diferencias significativas estadísticamente para los diversos filtro-ayuda, sin embargo para los diferentes espesores manejados de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0

cm de espesor se existen diferencias significativas. Por lo cual se infiere que se puede utilizar cualquier filtro-ayuda. En nuestro caso se seleccionó el Dicalite 4127, por ser económicamente más accesible, esto en la filtración de Levaduras.

5.- El filtro-ayuda incorporado en dosificación con la suspensión de Levaduras aumento la capacidad de filtración conforme se incremento la concentración de filtro-ayuda, teniendo un incremento máximo del 33.61% con una concentración de 1.5 de filtro-ayuda en incorporación.

6.- A partir de los parámetros de filtración obtenidos se infiere que los sólidos en suspensión de Dicalite-Levaduras(1.5 y 10%) es un material que presenta un índice de compresibilidad $s = 0.5721$, tomando en cuenta que el rango es de 0-1 y entre mas alejado de 1 es un material mas compresible, se puede considerar un material de mediana compresibilidad.

7.- Los valores experimentales de capacidad de filtración comparados con los valores teóricos obtenidos no se encuentran muy desviados en los casos de variación de la velocidad de rotación del tambor y área filtración, presentando desviaciones de 8.40 y 14.82 respectivamente. Tomandose en cuenta que los factores de seguridad manejados para diseño es del 20%. Por lo cual se puede asegurar que el Simulador prueba por Filtración al vacío es útil para obtener parámetros de filtración aceptables y extrapararlos al equipo en el caso de materiales como las Levaduras.

8.- En base al experimentación efectuada con la Suspensión de Levaduras se considera que la filtración en este equipo es adecuada y se recomienda utilizarlo posteriormente en otros trabajos.

9.- A través de la experimentación para el actinomiceto: Streptomyces griseus se observo que la morfología de estos hace que el medio filtrante se obstruya por el

micelio que presenta, también en la variación de las diferentes precapas estas se obstruyen rápidamente no efectuándose una filtración adecuada.

10.- Con la incorporación del Filtro-ayuda en dosificación un 10% con los hongos mejoro la filtración ya que los micelios se combinan con las partículas de filtro-ayuda, evitando que el medio filtrante se obstruya, sin embargo la capacidad de filtración es muy baja

11 - Durante la variación de la presión de vacío se obtuvieron los parámetros de filtración, sin embargo cabe señalar que con una presión de 20 y 30 cm de Hg la torta presentaba mucha humedad, además que la correlación obtenida es baja .Siendo también una torta muy heterogenea en su espesor, debido a que la caída de presión no era suficiente par llevar acabo eficientemente la filtración, estos parámetros se obtuvieron en el Simulador de Filtración al Vacío.

12.- Durante la filtración en el filtro al vacío los problemas de formación de torta se incrementaron impidiendo una buena formación por la insuficiente caída de presión que se presentó en este filtro, por lo cual este filtro no se considera adecuado para este tipo de materiales biológicos, recomendándose filtros donde la caída de presión es mas elevada, para favorecer la formación de torta, así como ayudar a que el liquido filtrado fluya a través de el medio, en estos casos y en donde no sea muy importante el espesor del medio filtrante se recomienda utilizar Polipropileno y el Filtro-ayuda en dosificación con la suspensión de Hongos.

A P E N D I C E A

METODOLOGIA DE CALCULO.

El Simulador Prueba de filtración al Vacío proporciona información necesaria en la operación de filtración, pudiéndose calcular las características del material a filtrar así como del medio filtrante como son: resistencia de la torta formada por los sólidos en suspensión (α), índice de compresibilidad de la torta (s) y la resistencia del medio R_m , aunque esta se considere nula en filtración continua (R_m), estos valores son obtenidos de la experimentación realizada, tomando las lecturas de tiempo en intervalos de 50 ml de filtrado recolectado.

El análisis e interpretación de resultados se lleva a cabo de la siguiente manera

A partir de la ecuación de Filtración a AP constante.

$$dv/dt = (A^2 (AP)^2 / (\alpha \mu (AC) \rho_s V + AR_m))$$

donde $(AC) \rho_s = \rho_s (p_f / \rho_s) (s / (1-s/sc)) - p f s / (1-s/sc)$

siendo:

dv = diferencial de volumen (m^3)

dt = diferencial de tiempo (seg)

AP = caída de presión (kg/m^2)

μ = viscosidad del filtrado ($kg/m\text{-seg}$)

AC = diferencia de concentración (kg/m^3)

A = área de filtración (m^2)

α = resistencia de la torta a presión constante (m/kg)

s = fracción masa de sólidos en suspensión.

sc = fracción masa de sólidos en la torta.

ρ_s = densidad de sólidos (kg/m^3)

ρ_f = densidad del filtrado (kg/m^3)

R_m = resistencia del medio filtrante (m^2)

Utilizando el Método Integral

Integrando la ecuación A queda:

$$t/v = aV + b$$

siendo

$$a = (\mu(\Delta C_p s) \alpha) / (2A^2 (\Delta P))$$

$$b = \mu R_m / (\Delta C_p)$$

Los valores de t/v se correlacionan con los de volumen de filtración, la pendiente es el valor "a" y la intersección es el valor "b". Estos valores fueron obtenidos en una calculadora personal programable FX 785P Casio, a partir del programa estadístico de regresión lineal.

Con los valores de "a" y "b" se despeja R_m y

$$\alpha = a(2A^2)(\Delta P) / (\Delta C_p \mu)$$

$$R_m = b\Delta C_p / \mu$$

Variando la caída de presión se puede obtener el índice de compresibilidad, este se obtiene de la ecuación empírica siguiente:

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s$$

tomando los logaritmos base 10.

$$\log \alpha = \log \alpha_0 + s \log(-\Delta P)$$

Correlacionando los valores de logaritmo base 10 en el programa estadístico de regresión lineal se obtienen los valores de α_0 , s.

De esta manera se obtienen las características de filtración necesarias en el cálculo de capacidades de filtración en el equipo de Filtro de tambor rotatorio al vacío.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AIBA Sh & Humphrey E.A., Biochemical Engineering, Academic Press, New York, 1973, pags 353-357.
- 2.- BAGGER W.L y Banchemo J.T., Introducción a la Ingeniería Química, Mc Graw Hill, México 1984, pags. 572-614.
- 3.- BAILEY J.E & Ollis F.D., Biochemical Engineering Fundamental, Mc Graw Hill, USA, 1977, pags. 583-585.
- 4.- BALTRA y Acevedo., Filtration Characteristic of Meat Cassete Mash Fermented by Thichoderm reesse, Journal.Ferment.Technol.,59(1)59(1981)
- 5.- BAQUERO F.A., Equipos para la Industria Química y Alimentaria Ed. Alhambra, España 1985, pags 315-327
- 6.- BJURSTRUM ED., Biotechnology, Chem.Eng, Feb 18:149(1985)
- 7.- BROWN B.G y Granger B.G, Operaciones Básicas de la Ingeniería Química, Manual marín y Cia Editores, Barcelona 1956, pags 229- 256
- 8.- COSTA N.E., Ingeniería Química Vol III, Ed. Alhambra, Madrid 1985, pags 382-388.
- 9.- CRANE Co., Flow of Fluid, Crane Co, New York, 1980, pags B-14, B-19. 10

- 10.- COULSON J.M & Richardson J.P., Opreaciones Básicas de Ingeniería Química, tomo II, Ed Reverte, España 1981,pags 321-373
- 11.-DLOUHY P.E & Dahlstrom D.A., Continuos Filtration in Pharmaceutical Production, Chem.Eng. Prog,64(4):116(1968).
- 12.- DUDLEY W.CH., Leaf Test Can Establish Optimun Rotary Vacuum Filter Operation, Jun14,141,(1982)
- 13.- EQUIPOS DE FILTRACION, Stockdale Mexicana S.A de C.V, México D.F 1988 (folleto)
- 14.- FILTRO-AYUDA. Almeria Comercial S.A de C.V México D.F 1988 (folleto)
- 15.- FILTRO-AYUDA., Dicalite de México S.A,México D.F., 1988 (folleto)
- 16.- FOUST A.S Y Wenzel L.A.,Principjos de Operaciones Unitarias, CECSA, México 1984, pags 607-625.
- 17.-GIRAL J. y Borneo F., Ingeniería de Procesos,EdAlhambra, México 1979, pags 93-99.
- 18.- GRAY F.P & Lilly M.D.,TheClarification of Mechanically DisruptedYeastSuspensionbyRotaryVacuum Precoat Filtration, Biotech&Bioen, XV:309(1973)
- 19.- HELMAN J., Teoría y Práctica de Farmacotécnia, Vol III, Compañía Continental, México 1984,pags 853-881.

- 20.- HINCHEN J.D., Estadística Práctica para la Investigación Química, Ed. Manual Moderna, México 1976, pags 18-50.
- 21.- HUTTO P.B. & Bell G.R., Analysis of Rotary Preccoat Filter Operation, Chemical.Engineer.Progress, 54(2):69(1958)
- 22.- IZASMENDI T.M.G., Variables que afectan la Selección del Filtro Rotatorio al Vacío, México-1987, Fac. de Química (tesis I,Q)
- 23.- KONDELIK J. Optimitation, Int.Chem.Eng.22(4)699(Oct1982)
- 24.- INTERFILTER., Linea Full Stream., México 1988, (folleto)
- 25.- MATTERSON J.M & Orr Cl., Principles & Practice Filtration Vol 27, Chemical Industries, USA, 1987
- 26.- MC CABE W.L Y Smith J.C., Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Ed. Reverte, España 1981 , pags 911-940.
- 27.- MILLER F.J., Probabilidad y Estadística para Ingenieros., Ed. Prentice Hall Hispanoamericana , México 1986, pags 364-402.
- 28.- MINIUM.E.M., Elements of Statistical Reasoning, John Wiley & Sons, U.S.A, 1982.pags 229-230.
- 29.- NEVILLE P & Lilly M.D., The Interation between Fermentation and Protein Recovery, Biotech.Bioeng 2(7):625(1984).
- 30.- OCON J. Y Vian A., Elementos de Ingeniería Química, Ed Aguilar, España 1957.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- 31.- PERRY J.H., Manual del Ingeniero Químico, Vol III, y II Mc Graw Hill, México 1982 19-67 a 19-87
- 32.- PERRY J.H.& Chilton., Biblioteca del Ingeniero Químico Vol II y III, México 1982.
- 33.- PEPLER J.H., Microbial Technology, Kieger Publish, New York, 1977, pags 443-444.
- 34.- QUINTERO R.R., Ingeniería Bioquímica, Ed. Alhambra.,México 1981, pags 133-144.
- 35.- RHODES & Pletcher D.L., Industrial Microbiology, Ed. Mc Graw Hill, USA 1969, pags 13-14.
- 36.- SCHMIDT R.I., Manual Práctico de Equipos de Plantas Industriales, Ed Bellatierra, España 1974, pags 107-109.
- 37.- SCHWEITNER P.,Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineering,Mc Graw hill, USA 1974 Cap 4 y 5.
- 38.- SCRIBAN R.,Biotecnología, Ed.Manual Moderno, México 1984, pags 2-3
- 39.- STEEL PH.Biochemical Engineering, The Mc Millan Co, USA 1969, pags 277-280.
- 40.- STELL Y Torrie., Bioestadística, Mc Gaw Hill, México 1985 pags 179-180.

- 41.- STAFF REPORT., Filtration Techniques For Biotechnology Productivity,
Biotech4(10):875(1986)
- 42.- STOCKDALE SA., Manual de Operación del Filtro Rotatorio al Vacío.,
Stockdale S.A DE C.V, México 1988(folleto)
- 43.- TILLER M.P.,Rotary Drum Filtration I, Incompressible Cake with Variable
Hydrostatichead, --Filtr&Separation, January(69)1972.
- 44.- WANG C.D & Croney I.,Fermentation and enzyme Technology , John Wiley
& Sons, USA, 1974.
- 45.- WEBB F.CH.,Ingeniería Bioquímica., Ed Acribia, España, 1966 pags 540-
561 .