

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**DIMENSIONAMIENTO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN
FILTRO PRENSA Y UN SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA EL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS (UAJMS)**

Por:

DANIEL VEGA YUFRA
EVI CRISTIAN RIOS CAZON

**Proyecto de grado, modalidad de graduación: “Investigación Aplicada”,
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Febrero de 2026
TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Fernando Erick Cortes Michel
VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. DAVID BALDERRAMA PAREDES

ING. JUAN PABLO HERBAS BARRANCOS

ING. FABRICIO CAMPERO VERDUN

Advertencia

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por su amor incondicional, por creer en nosotros y por ser nuestro mayor apoyo en cada momento.

A nuestros padres, que con su esfuerzo, comprensión y sacrificio hicieron posible nuestra formación profesional.

A nuestros amigos, por acompañarnos con palabras de aliento y sonrisas en los días más difíciles.

Y a cada persona que, de una u otra forma, formó parte de este camino, gracias por ayudarnos a llegar hasta aquí.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a nuestras familias, por ser nuestro pilar fundamental de fortaleza, apoyo incondicional y fuente de inspiración en cada etapa de este camino.

A nuestros amigos, por su compañía, aliento y los momentos compartidos que hicieron más grato este recorrido académico.

A nuestros maestros, por su dedicación, guía y sabiduría, que nos orientaron en el sendero académico y en nuestra formación profesional.

Y expresamos un especial agradecimiento al Tribunal Calificador, por su tiempo, disposición y valiosas observaciones que contribuyeron al perfeccionamiento de este trabajo de tesis.

Pensamiento

“Estudio, sacrificio y sobre todo amar
lo que estás haciendo”

- Pelé

CONTENIDO

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Pensamiento	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	3
Justificación	3
Justificación Económica	3
Justificación Académica	3
Justificación Técnica.....	4
Justificación Ambiental.....	4
Justificación Personal.....	4

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Aspectos técnicos y otras consideraciones.....	6
1.2. Teorías básicas que sustentan el trabajo	6
1.3. Teoría de filtración.....	8
1.4. Filtración continua	9

1.4.1. Filtro de tambor rotatorio al vacío	10
1.4.2. Filtro de disco al vacío	10
1.4.3. Filtros de tambor a presión.....	11
1.5. Filtración discontinua.....	11
1.5.1. Filtración a presión constante	11
1.5.2. Filtración a velocidad constante.....	12
1.5.3. Filtración a presión variable y velocidad variable	12
1.6. Aparatos indispensables para la filtración (Sólido-Líquido)	14
1.7. Medios filtrantes	14
1.7.1. Telas de fibras tejidas.....	18
1.7.2. Telas metálicas o cedazos	19
1.7.3. Filtros prensados y borra de algodón	20
1.7.4. Tramas no tejidas	20
1.7.5. Papeles de filtro.....	21
1.7.6. Medios porosos rígidos	21
1.7.7. Membranas poliméricas	21
1.7.8. Lechos granulares de sólidos particulados.....	21
1.8. Teoría del filtro prensa de placas y marcos.....	21
1.9. Tortas incompresibles y compresibles	23
1.9.1. Tortas incompresibles	23
1.9.2. Tortas compresibles	24
1.10. Comparación con otras tecnologías de separación sólido-líquido	25
1.11. Comparación de características técnicas de equipos de filtración	26

1.12. Justificación técnica para la elección del filtro prensa.....	27
1.13. Dimensionamiento de un filtro prensa	30
1.13.1. Ciclo de filtración.....	30
1.13.2. Factores que afectan los tiempos del ciclo.....	30
1.13.3. Ecuaciones de dimensionamiento	30
1.13.4. Aplicación de la ley Darcy para la filtración	31
1.13.5. Expresión de la resistencia de la torta (R_c)	32
1.13.6. Sustitución en la ley de Darcy adaptada	32
1.13.7. Ecuación de filtración a presión constante.....	33

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Caracterización de la materia prima.....	34
2.1.1. Selección de las suspensiones de prueba	34
2.1.3. Propiedades fisicoquímicas de la sandía.....	36
2.1.4. Propiedades fisicoquímicas de la cal apagada	37
2.2. Diseño experimental general.....	38
2.2.1. Variables experimentales	39
2.3. Diseño mecánico del filtro prensa.....	40
2.3.1. Fundamentos del diseño del espesor de las placas fija y móvil	40
2.3.2. Diseño del tornillo de cierre en la placa móvil	42
2.3.3. Cálculos de las varillas roscadas (soportes centrales).....	44
2.3.4. Cálculo del área efectiva del medio filtrante	45
2.4. Elección y justificación del medio filtrante para el prototipo	48

2.5. Fundamentos para la selección de la bomba.....	51
2.6. Justificación de la selección de accesorios	53
2.7. Perdidas por fricción en el sistema de filtración	56
2.8. Descripción de la operación experimental del fluido a filtrar.....	58
2.8.1. Primera práctica experimental (torta compresible - arcilla).....	58
2.8.2. Segunda práctica experimental (torta compresible - sandía)	63
2.8.3. Tercera práctica experimental (torta incompresible - cal apagada)	68

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de las pruebas de filtración	74
3.1.1. Resultados de las pruebas de filtración a diferentes caídas de presión y concentraciones de la arcilla	74
3.1.2. Resultados del cálculo de la resistencia específica de la torta relacionando la caída de presión y la concentración de cada una de las disoluciones	82
3.1.3. Resultados de las pruebas de filtración a diferentes caídas de presión y concentraciones de la sandía	88
3.1.4. Resultados de las pruebas de filtración a diferentes caídas de presión y concentraciones de la cal apagada.....	100
3.2. Análisis económico	112

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	118
4.2. Recomendaciones.....	119

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía	121
--------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Características de materiales de filtros.	16
Tabla 1-2. Efectos de los tipos de tejidos e hilazas sobre los medios filtrantes.....	19
Tabla 1-3. Comparación de tecnologías de separación sólido líquido.....	25
Tabla 1-4. Comparativa de parámetros técnicos de los equipos de filtración.....	26
Tabla 1-5. Análisis de limitaciones técnicas del equipo y su potencial educativo	27
Tabla 1-6. Matriz de viabilidad comparativa	28
Tabla 1-7. Integración de competencias específicas del proyecto dentro del marco curricular institucional	29
Tabla 2-1. Parámetros fisicoquímicos de la arcilla.	36
Tabla 2-3. Parámetros fisicoquímicos de referencia de la cal apagada (hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	37
Tabla 2-4. Esquema del procedimiento experimental general	38
Tabla 2-5. Variables experimentales de la operación de filtración.	39
Tabla 2-6. Cálculo del área total efectiva N.º 1	47
Tabla 2-7. Cálculo del área total efectiva N.º 2	47
Tabla 2-8. Matriz de factores ponderados para la selección del medio filtrante.....	49
Tabla 2-9. Matriz de factores ponderados para la selección de la bomba.....	51
Tabla 2-10. Matriz de factores ponderados para la selección de la válvula.....	54
Tabla 2-11. Datos obtenidos de absorbancia para diferentes concentraciones de disolución de arcilla.	62

Tabla 2-12. Datos obtenidos de absorbancia para diferentes concentraciones de mezcla de sandía.....	67
Tabla 2-13. Datos obtenidos de absorbancia para diferentes concentraciones de mezcla de cal apagada.	72
Tabla 3-1. Prueba de filtración N.º 1 a 3.1 bar (arcilla)	74
Tabla 3-2. Prueba de filtración N.º 2 a 3 bar (arcilla)	75
Tabla 3-3. Prueba de filtración N.º 3 a 2.3 bar (arcilla)	75
Tabla 3-4. Prueba de filtración N.º 1 a 3.1 bar (arcilla)	76
Tabla 3-5. Prueba de filtración N.º 2 a 3 bar (arcilla)	76
Tabla 3-6. Prueba de filtración N.º 3 a 2.3 bar (arcilla).	77
Tabla 3-7. Prueba de filtración N.º 1 a 3.1 bar (arcilla).	77
Tabla 3-8. Prueba de filtración N.º 2 a 3 bar (arcilla).	78
Tabla 3-9. Prueba de filtración N.º 3 a 2.3 bar (arcilla).	78
Tabla 3-10. Resumen de tiempos y volúmenes filtrados en las tres pruebas para la arcilla.....	79
Tabla 3-11. Valores de las pendientes.....	84
Tabla 3-12. Datos conocidos de área de filtración, viscosidad del fluido, caídas de presión y concentraciones.	85
Tabla 3-13. Resistencias específicas de la torta para la prueba con arcilla.....	86
Tabla 3-14. Prueba de filtración N.º 1 a 1.8 bar (sandía).....	88
Tabla 3-15. Prueba de filtración N.º 2 a 1.2 bar (sandía).....	89
Tabla 3-16. Prueba de filtración N.º 3 a 1 bar (sandía).....	89
Tabla 3-17. Prueba de filtración N.º 1 a 1.8 bar (sandía).....	90
Tabla 3-18. Prueba de filtración N.º 2 a 1.2 bar (sandía).....	90

Tabla 3-19. Prueba de filtración N.º 3 a 1 bar (sandía).....	91
Tabla 3-20. Volumen que se filtrará en un tiempo de 80 segundos para la prueba con la sandía.....	92
Tabla 3-21. Valores de las pendientes (sandía).....	96
Tabla 3-22. Datos conocidos para el cálculo de las resistencias específicas	97
Tabla 3-23. Resistencias específicas de la torta para la prueba con sandía	98
Tabla 3-24. Prueba de filtración N.º 1 a 1.25 bar (cal apagada).	100
Tabla 3-25. Prueba de filtración N.º 2 a 1.1 bar (cal apagada).	101
Tabla 3-26. Prueba de filtración N.º 3 a 0.8 bar (cal apagada).	101
Tabla 3-27. Prueba de filtración N.º 1 a 1.25 bar (cal apagada).	102
Tabla 3-28. Prueba de filtración N.º 2 a 1.1 bar (cal apagada).	102
Tabla 3-29. Prueba de filtración N.º 3 a 0.8 bar (cal apagada).	103
Tabla 3-30. Volumen filtrado en función al tiempo (cal apagada)	104
Tabla 3-31. Valores de las pendientes para la prueba con cal apagada.	108
Tabla 3-32. Datos conocidos para el cálculo de las resistencias específicas	109
Tabla 3-33. Resistencias específicas de la torta para la prueba con cal apagada.....	110
Tabla 3-34. Transporte y servicios técnicos requeridos.....	112
Tabla 3-35. Ítem para sistema de control, medición de variables y componentes eléctricos.	113
Tabla 3-36. Insumos para la construcción y operación del filtro.....	113
Tabla 3-37. Componentes principales del módulo de filtración	114
Tabla 3-38. Ítems que forman la estructura de soporte del filtro	115
Tabla 3-39. Sistema de alimentación y descarga	115
Tabla 3-40. Ítems para el soporte del sistema de alimentación del filtro.....	116

Tabla 3-41. Presupuesto global.....	117
-------------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ciclos típicos de filtración.....	13
Figura 1-2. Placas y marcos de un filtro prensa de grifos.....	22
Figura 1-3. Filtro prensa equipado para operación automática.....	23
Figura 1-4. Comparación esquemática entre la filtración con torta incompresible y torta compresible.	24
Figura 2-1. Diagrama de “filtración de torta” mostrando la formación de torta bajo presión en una placa de filtración.....	35
Figura 2-2. Configuración de elementos del sistema de filtración.....	53

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1. Arcilla empleada para la elaboración de la mezcla de alimentación del filtro.....	58
Fotografía 2-2. Trituración del terrón de arcilla para la obtención de partículas finas utilizadas en la preparación de la suspensión de filtración.	59
Fotografía 2-3. Pesaje de la arcilla para su disolución en distintas proporciones de agua.	60
Fotografía 2-4. Preparación de patrones para su lectura en el espectrofotómetro.	61
Fotografía 2-5. Lectura de absorbancia en espectrofotómetro.....	62
Fotografía 2-6. Sandía utilizada para la prueba experimental.....	64
Fotografía 2-7. Trituración de la sandía.....	65
Fotografía 2-8. Trituración para concentrado homogéneo de la sandía.....	65

Fotografía 2-9. Preparación para determinar la mezcla patrón.	66
Fotografía 2-10. Cal apagada pulverizada utilizada para la experimentación.	69
Fotografía 2-11. Pesaje de la cal apagada para su disolución en distintas proporciones de agua.	70
Fotografía 2-12. Preparación de patrones para su lectura en el espectrofotómetro. ...	71
Fotografía 2-13. Lectura de absorbancia en espectrofotómetro.	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 2-1. Comportamiento del área de filtración efectiva respecto al tiempo de operación.	48
Gráfico 2-2. Curva de calibración de la arcilla con puntos máximos y mínimos.	63
Gráfico 2-3. Curva de calibración de la sandía con puntos máximos y mínimos.	68
Gráfico 2-4. Curva de calibración de la cal apagada con puntos máximos y mínimos.	73
Gráfico 3-1. Comportamiento del volumen de filtrado en función del tiempo.	80
Gráfico 3-2. Influencia del volumen en el tiempo de filtración para la arcilla en suspensión.	81
Gráfico 3-3. Regresiones lineales del tiempo/volumen en función del volumen a diferentes presiones y a concentración de 1.25kg/m^3 de arcilla en agua.	83
Gráfico 3-4. Compresibilidad de la torta en función de la concentración y las diferentes presiones 230000Pa, 300000Pa y 310000Pa. para suspensión de arcilla	87
Gráfico 3-5. Comportamiento del volumen de filtrado en función del tiempo para la pulpa de sandía.	93
Gráfico 3-6. Comportamiento de la torta (pulpa de sandía).	94
Gráfico 3-7. Regresiones lineales del tiempo/volumen en función del volumen.	95

Gráfico 3-8. Compresibilidad de la torta para pulpa de sandía variando presiones de operación y concentraciones.	99
Gráfico 3-9. Comportamiento del volumen de filtrado en función del tiempo.....	105
Gráfico 3-10. Comportamiento de la torta (cal apagada).....	106
Gráfico 3-11. Regresiones lineales del tiempo/volumen en función del volumen. ..	107
Gráfico 3-12. Compresibilidad de la torta para la cal apagada variando presiones de operación y concentraciones.	111

GLOSARIO DE TÉRMINOS

NOMENCLATURA, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA UTILIZADA

A	Área del medio filtrante (m^2)
AT	Abrasión resistencia
C	Concentración de los sólidos (Kg/ m^3)
D	Diámetro interno de la tubería (m)
Dp/dx	Gradiente de presión (Pa/m)
f	Factor de fricción de Darcy-Weisbach
g	Aceleración de la gravedad (m/s^2)
GE	Gravedad específica
hf	Pérdida de carga por fricción (Pa)
K	Coeficiente de pérdida local
K	Permeabilidad del medio (m^2)
L	Espesor de la torta
$L_{\text{Accesorios}}$	Longitud equivalente de accesorios
L_{Rectos}	Longitud equivalente de tramos rectos
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
LT	Longitud de la tubería (m)
N	Número de placas para el filtro prensa
P	Presión total del Sistema (Pa)
Q	Caudal volumétrico (m^3/s)
r	Resistencia de la tela del filtro más el sistema de drenaje
R	Porcentaje residual de soluto en la torta sin lavar que permanece después del lavado

R ac.	Resistencia a los ácidos
R alc.	Resistencia a los álcalis
RAO	Resistencias a los agentes oxidantes
Rc	Resistencia de la torta
RD	Resistencia los disolventes
Re	Número de Reynolds
Rm	Resistencia del medio filtrante
RT	Ruptura tenacidad (g/dinier)
t	Tiempo de filtración (s)
T max	Temperatura máxima operativa (°F)
TEFSA	Técnicas de Filtración S.A.
UAGRM	Universidad Autónoma Gabriel René Moreno
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
UCN	Universidad Católica del Norte
UCSM	Universidad Católica Santa María
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
V	Volumen de filtrado (m ³)
v	Velocidad superficial del fluido (m/s)
Vf	Volumen de filtrado de formación de torta por unidad de área
Vw	Volumen de filtrado de lavado de torta por unidad de área
W	Peso de sólidos secos por unidad de área (kg/m ²)
w	Peso de sólidos de la torta por unidad de volumen de filtrado
α	Resistencia específica de la torta (m/kg)

ΔP	Diferencia de presión (Pa)
ΔP_c	Diferencia de presión a través de la torta
ε	Rugosidad absoluta (m)
ε/D	Rugosidad relativa
η	Eficiencia de filtración (%)
Θ	Tiempo total de ciclo (s)
Θ_f	Tiempo de formación de torta
Θ_w	Tiempo de lavado de torta
μ	Viscosidad del fluido (Pa·s)
ρ	Densidad del fluido (kg/m ³)