

DISEÑO BASICO DE UN EQUIPO PARA EXTRACCION DE GRASA A PARTIR DEL PROCESO DEL DESCARNE

Julián Rincón^{*}, Rodrigo García^{**†}, Mariluz Betancur^{*}

^{*}Universidad Pontificia Bolivariana, Grupo de Investigación Ambiental (GIA). Cir.
1 #70-01, Bloque 11, Medellín, Colombia.

^{**}Curtiembres Itagiú S. A., Cr. 53 A # 50-89 Itagiú, Colombia

Recibido 2 Noviembre 2010; aceptado 05 Diciembre 2010
Disponible en línea: 21 Diciembre 2010

Resumen: El presente proyecto trata acerca del diseño del proceso de extracción de grasa a partir del descarne en una curtiembre y la importancia de producción en la industria. El empleo constante de grasa ha incrementado la importancia de desarrollar procesos económicos para su producción. El diseño del proceso de extracción de grasa se basa en la recolección del sebo negro (SN) producido por la planta existente en la empresa y llevarlo a un tanque en donde se realiza una floculación y clarificación del SN mediante la adición de un ácido fuerte. Posterior a la reacción se generan 3 fases: grasa extraída, fase acuosa y material particulado, en donde la grasa se separa por decantación. Se evaluaron las condiciones óptimas para la producción de la grasa, midiendo el rendimiento del producto en función del índice de acidez (IA) y de la cantidad de ácido adicionado. *Copyright © 2011 UPB.*

Palabras clave: Grasa, Curtimbre, Extracción, Descarne, Residuos Sólidos.

Abstract: This project is about designing the process of extraction of fat from the flesh in a tannery and the importance of industrial production. The constant use at industrial level of fat has increased the importance of developing economic processes for their production. The design of the fat extraction process is based on harvesting of Black Sebum (BS) produced by the existing plant in the tannery and brings it to a tank where it will conduct a sulfonation and clarifying the BS by adding an acid. After the reaction is generated 3 phases: fat removed, aqueous phase and particulate material, wherein the fat is separated by decanting. It was evaluated the optimal conditions for the production of fat by measuring the performance of the product by the acid index and the amount of acid added.

Keywords: fat, tannery, extraction, fleshed, solid waste.

1. INTRODUCCIÓN

Las curtiembres generan grandes cantidades de sólidos, así como residuos líquidos que son desechados sin un mayor aprovechamiento, como es el caso de despojos producidos anualmente en forma de cuero crudo por recortes de la piel, descarnaduras y virutas de cromo. Proteínas, especialmente colágeno, forman la mayor parte de la materia seca de los residuos sólidos

procedentes de las curtiembres (Adzet, 1985) que tiene un potencial real de contaminación y no representan un problema de eliminación. Comprometido con formular y desarrollar una política, cierta curtiembre ha desarrollado investigaciones en el marco ambiental pendiente a resolver estos problemas, como es el caso del proceso del descarne en el que se producen 1782 kg diarios en residuos sólidos (Curtiembre, 2010)

[†] Autor correspondiente:
Tel. (+574) 372 06 66 Ext. 225.
E-mail: rgarcia@curtitagui.com (Rodrigo Garcia).

a los cuales se les puede aprovechar el contenido de grasa extraída de los animales ([Valiveti y Wei, 2007](#)) para su empleo como materia prima en la industria de producción de jabones para el consumo humano y aseo de exteriores. A nivel mundial se consumen 8.9 millones de toneladas de grasa ([LLUISVIVES, 2010](#)), la cual es utilizada en un 33% en la industria del champú para su elaboración, es empleado en la industria de los cosméticos para la fabricación de polvos faciales en donde representa el 65% aproximadamente y a partir de la década de los 90's se viene empleando para la producción de biodiesel ([Mirasolain, 2007](#)) en donde se produjo 355.5 toneladas en el 2005 y 466.7 toneladas en el 2006, representando un incremento del 23.82 % entre los dos años.

En la actualidad el método más empleado para la obtención de grasa a partir residuos animales es mediante la cocción de los mismos, en donde se separa la grasa de la carne ([Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1998](#)), el índice de acidez (IA) aceptado por la industria es el inferior a 3.5 mg KOH/g y la grasa producida por la curtiembre después de la cocción tiene un valor superior a éste ([Colgrasas, 2010](#)), por lo cual es necesario adicionar ácidos para la separación del material particulado de la grasa y disminuir el IA, obteniendo de esta manera un producto de mayor valor agregado en el mercado. La empresa prestadora de sus instalaciones para la experimentación, realiza la cocción de los residuos generados en el descarte en dos tanques cada uno con capacidad de 13804 L en los cuales se obtiene el SN, posteriormente en canecas de 210 L ([Curtiembre, 2010](#)) de capacidad se realiza la adición de ácido sulfúrico al SN manualmente, por medio de baldes, en donde se adiciona el ácido de manera subjetiva sin existir una relación de ácido por SN obtenido, lo que lleva al desperdicio del ácido, incrementando los costos de producción y posibles lesiones físicas en el operario por la reacción generada entre la materia orgánica y el ácido ([Ozgunay et al., 2007](#)). La extracción de la grasa contenida en las canecas se realiza por medio de baldes lo que causa derrames de grasa y riesgos para la integridad física de los operarios. Además de la grasa, hay una fase acuosa la cual contiene sólidos indeseables alterando la calidad del producto. El presente proyecto busca realizar el diseño de un sistema adecuado para la producción de la grasa para mejorar las condiciones de trabajo de los operarios, calidad del producto obtenido y

encontrar la relación óptima de ácido por SN generado por la curtiembre.

2. MATERIALES Y METODOS

La materia prima del proyecto es SN, proveniente del proceso del descarte. La carne varía en su composición de grasa de acuerdo a la procedencia climática, raza de la res y características de almacenamiento ([Adzet, 1985](#)).

Debido a que en la curtiembre no hay método para la clasificación del SN se procedió a realizar un método para la clasificación del mismo. Se clasificó en 2 categorías, de acuerdo a análisis físicos e inspección visual. El SN de mayor densidad y mayor viscosidad se denominó sebo negro oscuro (SNO), el cual es un sebo con mayor material particulado, mayor IA y de color gris oscuro. El sebo de menor densidad y menor viscosidad y de color gris claro, se denominó sebo negro claro (SNC) y contiene menor cantidad de material particulado.

2.1. Experimentación en escala laboratorio.

Para la experimentación a escala laboratorio se decidió medir la cantidad de SN, por volumen en lugar de masa, debido a que posteriormente se realizaron pruebas a mayor escala en las cuales se emplearon cantidades mayores de muestra, la cual es más fácil de medir en volumen. Y también pensando a futuro que en caso de desarrollar el proyecto a nivel industrial en donde se espera manejar cantidades superiores a 4000 Kg ([Curtiembre, 2010](#)) donde es práctico medir la cantidad de SN por medio de volumen.

Para los ensayos de adición de H_2SO_4 y cuantificación de IA se preparó una muestra de 80 mL de SN. En base a los resultados obtenidos en dichos ensayos se construyó curvas de extracción de grasa y curvas de IA.

2.2. Adición de ácido sulfúrico

Al SNC y SNO se le adicionó ácido sulfúrico (H_2SO_4), como agente floculante el cual elimina el exceso de material particulado ([Vian Ortuño, 1996](#)), la cantidad de ácido adicionada dependió del tipo de SN a la hora de realizar la prueba. Como la muestra no es siempre la misma debido a factores climáticos, alimenticios y raza, se debió

realizar la clasificación y luego se evaluó los puntos extremos en los cuales el SN se quema con la adición del ácido. Para establecerlos se tomaron 80 mL del SNO y SNC que se vertieron en tarros de vidrio de 250 mL a los cuales se les adicionó ácido sulfúrico en diferentes proporciones y con agitación constante, para saber cuáles son los puntos en donde el ácido reacciona completamente con el SN lo que conlleva a la no extracción de la grasa (Ateortua, 2010). Establecido el punto en el cual hay un exceso de ácido se procedió a realizar adiciones de ácido sulfúrico dosificado con una bureta de 25 mL de capacidad.

La adición del ácido se realizó gota a gota y con agitación constante por medio de una varilla de vidrio, para garantizar una mezcla homogénea entre el SN y el ácido sulfúrico y así favorecer la reacción.

2.3. Recuperación de la grasa

Posterior al vertimiento del H_2SO_4 se observó la generación de 3 fases las cuales se describen a continuación: la capa superior es grasa producto de interés y de menor densidad por lo cual se encuentra en la superficie, la capa intermedia es material particulado y la capa inferior es una fase acuosa de mayor densidad ubicándose en los fondos. Debido a que el sistema de decantación opera con el principio de diferencias de densidades se decide optar por implementar este sistema el cual cumple con los mismos requerimientos del diseño del equipo.

Para poder separar la grasa fue necesario verter la mezcla resultante en un embudo de vidrio el cual tiene adaptado una llave en la desembocadura para controlar el paso del líquido, dicha mezcla se dejó reposar por 15 minutos para favorecer que la grasa se separe por diferencia de densidades de las demás capas e identificar claramente las 3 fases. El sistema de decantación está soportado por un trípode para facilitar su operación.

Por medio del control de la abertura de la llave se inspeccionó el paso de las fases de desecho y terminada la evacuación de las fases de desecho se recupera la grasa en un frasco de vidrio para medir el rendimiento e IA.

2.4. Medición índice acidez (IA)

Para cuantificar el IA se pesa una muestra de la grasa entre 2-5 g. Luego se agrega 10 ml de una mezcla solvente 1:1 de etanol y hexano, posteriormente se procede a titular con KOH 0.1 N utilizando fenolftaleína al 1% como indicador. La aparición de un color rosado pálido indica el fin de la titulación (ISO 6610, 2003).

2.5. Escalado del proceso

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio, se encontró el punto óptimo de adición de H_2SO_4 para una mayor producción de grasa cumpliendo con el IA requerido en la industria. El cual se calculó en base a los resultados de la producción de grasa e IA en función del H_2SO_4 vertido.

Posteriormente se realizaron ensayos definitivos en un tanque piloto de polietileno de alta densidad debido a que es un plástico fuerte que resiste a los golpes y los productos químicos en este caso el H_2SO_4 , con capacidad de 20 L y provisto de una válvula de descarga en la parte inferior del tanque para la evacuación de las fases de desecho.

Con la relación óptima lograda en los ensayos a escala laboratorio de volumen H_2SO_4 /volumen SN tanto para el SNC y SNO, se procedió a realizar pruebas a un volumen de 10 L.

En esta etapa se midió el rendimiento y el IA de la grasa extraída, y se compararon los resultados obtenidos con los resultados del sistema de laboratorio.

2.6. Diseño de equipo para extracción de grasa.

A partir de la recopilación de datos y resultados obtenidos durante la fase experimental se procedió a realizar el diseño básico del equipo para la producción de la grasa. Los componentes básicos del diseño del equipo serían los siguientes:

- Flujo del proceso en base a los datos reportados por la empresa para realizar el dimensionamiento de los equipos involucrados en el proceso.
- Tanque de dosificación del ácido sulfúrico para reemplazar el procedimiento de vertimiento

manual de dicho ácido, protegiendo de esta manera a los operarios.

- Tanque principal donde se lleva a cabo la reacción entre el SNC y el H_2SO_4 , este tanque cumplirá la función de sustituir el procedimiento actual de vertimiento del ácido al SNC en canecas plásticas. En el diseño del reactor se tuvo en cuenta el material para su construcción, geometría, entradas y salidas del mismo.

- A partir de las propiedades de los fluidos y de las dimensiones del reactor se diseñó el sistema de agitación donde se indica el tamaño del impulsor, requerimientos de potencia, velocidad y selección de deflectores.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Rendimiento grasa a escala de laboratorio.

Para la construcción de la [Fig. 1](#) se tomaron muestras de SNC durante 10 días, a las cuales se les midió la densidad y viscosidad donde los resultados para el SNC se presentan en la Tabla 1. Las graficas y cálculos de diseño se efectuaron con la herramienta computacional MICROSOFT EXCEL ®,

Tabla 1. Resultados de extracción de grasa para el SNC.

Punto	Adición H_2SO_4 (mL)	Grasa extraída (mL)
1	0	0
2	1	20.03
3	3	53.09
4	5	48.14
5	7	43.97
6	9	28.44
7	11	20.65
8	13	0

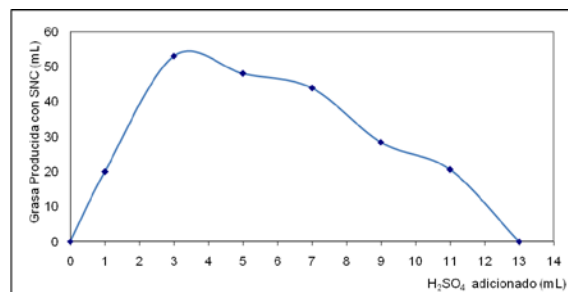


Fig. 1. Extracción de grasa para SNC vs H_2SO_4 adicionado.

A la hora de la adición del ácido se genera una reacción llamada sulfonación de la grasa, a nivel industrial este proceso se denomina desgomado por agentes floculantes la cual consiste básicamente en coagulación del material particulado indeseable, existen métodos empleando hexano como solvente extractor propuesto por Temelli ([Temelli, 2009](#)), dando como resultados extracciones entre el 5-15% de grasa, comparando los anteriores resultados con los del presente proyecto encontramos que se obtuvo un rendimiento del 48.25% para el SNO y 66.36% para el SNC, el mayor rendimiento de extracción por parte del presente proyecto puede deberse a que previamente se realiza una cocción de la materia prima favoreciendo la extracción final con la adición de H_2SO_4 .

La [Fig. 1](#) presenta un comportamiento cóncavo hacia abajo con dos puntos de corte en el eje de las abscisas y un máximo, los cuales se analizan a continuación.

Punto 1: En este punto no hay adición de ácido al SNC, por ende la extracción de la grasa será de igual medida cero.

Punto 3: Se encontró en este punto la mayor cantidad de grasa extraída (53.09 g), con una adición de ácido sulfúrico de 3 mL. Hay un 61.10% más de extracción de grasa en el punto 3, con respecto al punto 7, en donde aun hay producción de grasa comercial y un 72.72 % menos de consumo de H_2SO_4 . Realizando un comparativo del punto 3 con el punto 4, hubo un 9.32% más de extracción de grasa en el punto 3 y un 40% menos de adición de ácido sulfúrico.

Punto 8: En este punto no hay extracción de grasa, porque hay una adición en exceso de

H₂SO₄ causando una oxidación total de la grasa haciendo de esta no apta para la comercialización en la industria jabonera y para la distribución por parte de la empresa. El factor determinante para llegar a la conclusión de que la grasa no es apta, es por su color (Ateortua, 2010) ya que esta presenta un color negro.

Después de analizar los 3 puntos más relevantes de la Fig. 1 máximos y mínimos y sabiendo que el comportamiento es cóncavo hacia abajo, podemos decir que el incremento de la extracción de la grasa es directamente proporcional entre el punto 1 y 3, porque el comportamiento de la función es ascendente en este intervalo, mientras que el comportamiento es inversamente proporcional entre los puntos 3 y 8, debido a que la producción de la grasa decrece.

La Fig. 2 representa el comportamiento del SNO, con el H₂SO₄, es de aclarar que el SNO, tiene una mayor densidad que el SNC, y por ende mayor cantidad de material particulado, lo que causa un cambio en la escala de adición del ácido. Los resultados para el SNO se comentan a continuación.

Tabla 2. Resultados de extracción de grasa para el SNO.

Punto	Adición H ₂ SO ₄ (mL)	Grasa extraída (mL)
1	1	0
2	2	18.94
3	4	27.27
4	6	29.32
5	8	36.60
6	10	38.60
7	12	36.37
8	14	22.66
9	16	15.04
10	18	0

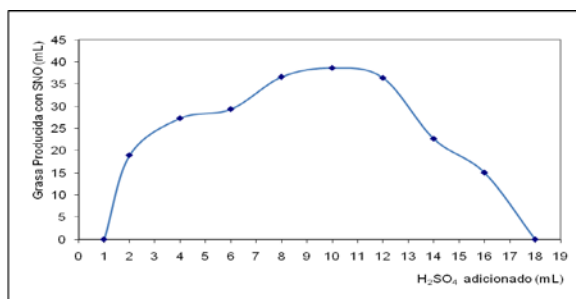


Fig. 2. Producción de grasa con SNO vs H₂SO₄ adicionado.

Punto 1: A pesar de que se adiciono H₂SO₄, a la muestra de SNO no hubo producción de grasa, esto posiblemente se deba a que el ácido flocula parte del material particulado, pero no la cantidad suficiente para una separación significativa de la grasa.

Punto 6: Cuando se empleó como materia prima SNO, se requirieron 10 mL de H₂SO₄, para alcanzar el máximo de producción de grasa (38.60 mL), un 27.28% menos que la producción lograda con el SNC, lo que indica que hay mayor cantidad de trazas en la muestra las cuales afectan directamente el rendimiento de la producción.

Punto 10: Cuando se adicionan 18 mL del ácido al SNO, hay una oxidación total de la materia prima, en otras palabras se obtiene un producto no apto para la comercialización. Encontramos que a diferencia del SNC, el SNO requiere un 38.89% más de adición de H₂SO₄ para quemar la grasa, esto permite un margen de error más alto en la operación cuando se tiene esta clase de materia prima, pero como consecuencia hay un 70% más de consumo de ácido cuando se emplea SNO.

La Fig. 2 presenta un crecimiento directamente proporcional a la adición de H₂SO₄ entre los puntos 1 y 6, lo que indica que en este segmento el ácido realiza su función floculante favoreciendo la separación de la grasa. Entre los puntos 6 y 10 el comportamiento es inversamente proporcional, lo que indica que la producción de la grasa decrece con la adición del ácido, esto puede deberse a que después de que el ácido reacciona con los residuos sólidos presentes en la muestra inicia la oxidación de la grasa extraída.

Posterior al análisis de los dos mínimos y el máximo podemos decir que la Fig. 2 presenta un comportamiento cóncavo hacia abajo al igual que la Fig. 1 pero con un desplazamiento del intercepto (0, 0) en una unidad, ósea que el comienzo de la función es en el punto (1, 0), lo que quiere decir que se requiere mayor adición de ácido sulfúrico en el SNO, para poder iniciar el proceso de floculación y posterior separación de la grasa.

3.2. Resultados Índice Acidez (IA).

La Fig. 3 muestra los valores de IA. El valor de IA permitido en la industria de grasas es 8 mg KOH/g (Colgrasas, 2010). Según se muestra en la

Fig. 3, el punto 2 muestra el máximo valor (5.03 mg KOH/g), indicando que la grasa obtenida para este punto es de menor calidad que la obtenida en los demás puntos. Aunque cabe decir que todos los puntos cumplen con el IA permitido en la industria.

Tabla 3. Resultados de IA con SNC.

Punto	Adición H ₂ SO ₄ (mL)	IA (mg KOH/g)
1	0	-
2	1	5.03
3	3	3.12
4	5	2.75
5	7	1.98
6	9	1.47
7	11	1.07
8	13	-

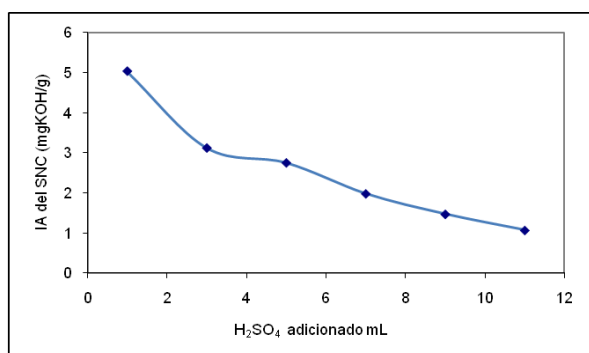


Fig. 3. IA para el SNC.

La grasa de mayor valor agregado en la industria es aquella que posee un IA inferior a 3.5mg KOH/g, y de acuerdo a la Fig. 3 a partir del punto 3 se cumple con este parámetro. El punto 7 es el que presenta menor IA 1.07 mg KOH/g, el cual tendría mayor valor agregado en la industria pero presenta el inconveniente de que se obtiene la menor producción 20.65 mL, de acuerdo a la Fig. 1.

Tabla 4. Resultados de IA con SNO.

Punto	Adición H ₂ SO ₄ (mL)	IA (mg KOH/g)
1	1	6.88
2	2	6.28
3	4	5.33
4	6	3.25
5	8	2.85
6	10	2.06
7	12	1.47
8	14	1.33
9	16	-
10	18	-

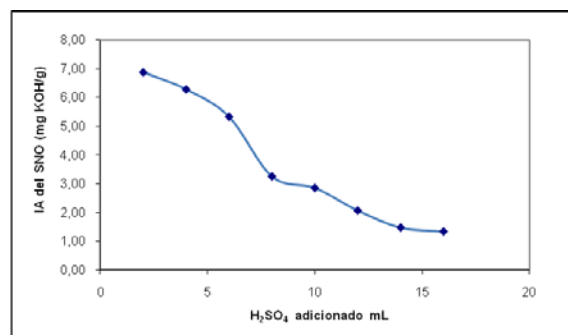


Fig. 4. IA para SNO.

La Fig. 4 al igual que la Fig. 3 presenta un comportamiento inversamente proporcional a la cantidad de H₂SO₄ adicionado, pero con la variante de que presenta un mayor IA con un valor de 6.88 mg KOH/g al adicionar 2 mL de H₂SO₄, mientras que en la Fig. 3 a pesar de que se adiciona una menor cantidad de H₂SO₄, 1 mL, el máximo valor de IA fue de 5.03 mg KOH/g, esta diferencia probablemente se deba a que la muestra de SNO, contiene mayor material particulado el cual neutraliza el ácido evitando la acidulación de la grasa.

Estudios realizados Taek Jeong (Taek Jeong et al., 2009), empleando alcalisis catalítica encontraron un IA de 0.67 mg KOH/g. Realizando un comparativo entre los valores de IA en donde hubo mayor extracción de grasa y los resultados de Taek Jeong, encontramos que el valor de IA alcanzado por el presente proyecto es mayor (3.12 mg KOH/g para el SNC y 2.85 mg KOH/g para el SNO). De acuerdo a la Fig. 4, a partir del punto 5, se cumple con el parámetro de alta calidad en la grasa. El punto 9, es el de menor IA 1.33 mg KOH/g, el cual es de mayor valor agregado en la industria pero presenta el inconveniente de que se obtiene la menor producción 15.04 mL de acuerdo a la Fig. 2.

3.3. Resultados en escalado del proceso

En los ensayos empleando SNC, a partir de los resultados obtenidos en la fase laboratorio se encontró la relación adecuada de adición de ácido por volumen de SNC con un valor de 0.0375 H₂SO₄ mL/SNC mL, esta relación se mantuvo constante en esta escala para verificar dichos resultados con los obtenidos en la etapa de laboratorio. Después de realizar 5 pruebas se alcanzó una extracción promedio de 6163 mL con un porcentaje de error del 8.52% respecto a la etapa de laboratorio, indicando que los resultados

son aceptables por ser un porcentaje de error menor del 9% considerando que el escalado se hizo en un incremento de 250 veces, en donde hay una propagación del error la cual es aceptable y teniendo en cuenta de que se trata de una reacción en donde la materia prima no es constante en sus propiedades físicas.

Cuando se empleo SNC el promedio de IA obtenido en los ensayos a mayor escala fue de 3.4 mg KOH/g. El porcentaje de error para el SNC fue 8.97%, valor inferior al 9%, por lo tanto los resultados obtenidos son aceptables.

Para los ensayos a mayor escala empleando SNO, se obtuvo una extracción de grasa de 4432 mL empleando una relación de 0.125 H₂SO₄/SNO mL, encontrada en la fase laboratorio, esta relación se mantuvo constante en todos los ensayos a mayor escala, en los cuales se empleó 10 L de SNO. En las pruebas a mayor escala y empleando SNO, el porcentaje de error fue de 9.10% lo que indica que los resultados están cerca del valor referencia encontrado en la etapa laboratorio, por lo tanto la relación de H₂SO₄/SNO, es válida y aplicable para extracciones a mayores escalas o nivel industrial.

El promedio de IA obtenido en los ensayos a mayor escala para el SNO fue de 3.1 mg KOH/g. El porcentaje de error para el SNO es 8.77% valor inferior al 9%, por lo tanto los resultados obtenidos son aceptables.

3.4. Diseño del equipo extractor de grasa.

Para el diseño del equipo se tuvieron en cuenta el volumen aproximado de SN producido por los 2 tanques de fusión húmeda, volumen de grasa extraído actualmente por la empresa y propiedades físicas de las sustancias presentes en el proceso.

Debido a que el SN se vierte en canecas plásticas de 210 L aproximadamente, se realizo un conteo por 30 días de cuantas canecas se llenaron diariamente, ya que la producción de SN no es constante. Se obtuvo un promedio de 9.5 canecas lo que equivale a un volumen de 1995 L por día. El tanque se sobredimensionó en un 25% lo que equivale a 2500 L de SN para garantizar que en caso de una sobre producción, el sistema de agitación funcione correctamente.

3.4.1. Tanque extractor de grasa

Éste puede ser fabricado en acero inoxidable u otro material (comúnmente fibra de vidrio), de geometría cilíndrica y cóncavo hacia arriba en el fondo. En este recipiente se lleva a cabo la reacción, para la extracción de la grasa. Se seleccionó una relación de 1:1 porque es apta para procesos en los cuales están involucrados líquidos y en los que se llevan a cabo reacciones según los estudios realizados por Paul ([Paul et al., 2004](#)). Además porque la mayoría de la investigaciones concernientes en agitación para el diseño de impulsores son realizadas en esta relación como es el caso de Kresta ([Kresta et al., 2006](#)) para el impulsor de Palas Planas Inclinadas (PBT del inglés *Pitch Blade Turbine*) y Fasano ([Fasano y Bakker, 1994](#)) para el de Hidroalas (HE-3 del inglés *High Efficient 3 Blades*).

Tabla 5. Parámetros diseño tanque extractor.

Geometría	Valor
Volumen Tanque - V (m ³)	2.50
Ancho Tanque-T (m)	1.47
Altura Tanque- Z (m)	1.47
Nº corta corrientes	4.00
Ancho Corta Corrientes- b _w (cm)	14.71
Distancia Corta corrientes al Tanque - K (cm)	2.04
Grosor corta corrientes- b _T (cm)	1.23

El tanque incluye los siguientes accesorios:

Tres bridas de 2" norma ANSI B 16.5, para entrada, salidas y drenaje.

Banda traslúcida de control de nivel, con tabla de aforo.

Accesorios para manipulación de las sustancia en acero galvanizado.

Cuatro soportes tipo ménsula en platina de hierro de 6" x 3/8" cada uno con su respectiva pata en acero al carbón con acabado en esmalte.

3.4.1. Selección impulsor

El impulsor es el dispositivo más crítico en el diseño del equipo de extracción de grasa Debido a que el vertimiento de H₂SO₄ se realizará en la superficie, se requiere un flujo axial para favorecer el contacto del ácido con el SN que se encuentra en el fondo del tanque y de esta manera favorecer la extracción de toda la grasa ([Paul et al., 2004](#)), porque en caso de seleccionar un

impulsor de flujo radial el ácido tendría contacto prácticamente con el SN de la superficie, desfavoreciéndose la extracción de la grasa.

Se realizó el diseño con el HE-3 propuesto por Fasano, en lugar del tradicional impulsor PBT, porque en este último hay una mayor formación de vórtices respecto al HE-3, ya que los vórtices en general son indeseables en la agitación, porque disminuyen la turbulencia e incrementan los requerimientos energéticos (Fentiman et al., 1999), el HE-3 presenta menor macro inestabilidad de acuerdo a los estudios realizados por Roussinova (Roussinova et al., 2000) por lo tanto el patrón de flujo es menos constante y más impredecible. El PBT tiene mayores dificultades para alcanzar el régimen turbulento, por lo tanto para compensar esta falencia se debe incrementar la velocidad de giro y por ende incrementar la potencia y costos de operación (Armenante et al., 1997)

El diseño del HE-3 se realizó en base al algoritmo propuesto por Fasano, en donde enuncia que para el diseño de cualquier impulsor se debe fijar el diámetro del impulsor, volumen de agitación, distancia entre el impulsor y fondo del tanque, escala de agitación y adicionalmente conocer la densidad y viscosidad de los fluidos en el proceso. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Estudios realizados por varios autores (Chapple y Kresta, 2002), (Armenante et al., 1997) y (Fentiman et al., 1999) empleando $D/T = 0.3$ encontraron que a este diámetro se incrementa la turbulencia pero dicha relación tiene el inconveniente de presentar un mayor consumo de energía, lo que conlleva a mayores costos de producción. Se realizó el diseño con dos relaciones de diámetro de impulsor ($0.3 \leq D/T \leq 0.4$), a dos diferentes escalas de agitación ($4 \leq S_A \leq 5$) para realizar un comparativo entre los sistemas de agitación.

Para el caso de $D/T=0.3$ a $S_A = 4$, se encontró una velocidad de giro de 5.06 rps, un $Re = 8004$, y un consumo de potencia de 0.82 HP. Comparando los anteriores resultados a un $D/T=0.4$ a una misma escala de agitación, se encontró que hay menores requerimientos de energía $P = 0.33$ HP, ya que se genera una menor turbulencia $Re = 6221$, causado por una menor velocidad de giro $N = 2.21$ rps.

Tabla 6. Parámetros diseño impulsor y requerimientos de energía

Parámetros	$S_A = 4$	$S_A = 5$	$S_A = 4$	$S_A = 5$
	$D/T = 0.3$	$D/T = 0.3$	$D/T = 0.4$	$D/T = 0.4$
Nº Impulsor	1	1	1	1
P	0.82	1.50	0.33	0.63
N (rps)	5.06	6.26	2.21	2.76
N_{Re}	8005	9885	6221	7777
C = T/3 (cm)	49.03	49.03	49.03	49.03
W (cm)	7.50	7.50	10.00	10.00
B (cm)	0.44	0.44	0.58	0.58

S_A : Escala de Agitación

P: Potencia, Hp

N: Velocidad de rotación del impulsor, rps

N_{Re} : Número de Reynolds

C: Distancia impulsor al fondo del tanque, cm

W: Ancho de la hoja, cm.

B: Grosor hoja, cm.

Para el caso de $D/T=0.3$ a $S_A = 5$, se encontró una velocidad de giro de 6.26 rps, $Re = 9885$, y un consumo de potencia de 1.5 HP, comparando los resultados anteriores con el caso de $S_A = 4$ y $D/T = 0.3$, se encontró un incremento de un 19.02% para la turbulencia y 45.37% para la potencia. De acuerdo a los estudios realizados por Hicks (Hicks et al., 1976) este incremento se debe al aumento de la escala de agitación en una unidad, que para lograrlo se necesita mayores requerimientos energéticos y dinámicos, lo que indica que hay una relación directamente proporcional entre la escala de agitación y la potencia.

Para el caso de $D/T = 0.4$ a $S_A = 5$, se encontró una velocidad de giro de 2.76 rps, $Re = 7777$, y un consumo de potencia de 0.63 HP, comparando los resultados anteriores con el caso de $S_A = 4$ y $D/T = 0.4$, se encontró un incremento de un 20% para la turbulencia y 46.88% para la potencia, estos incrementos son similares a los del caso de $D/T = 0.3$, por lo tanto corrobora el planteamiento de la existencia de una relación directamente proporcional entre la escala de agitación y la potencia.

Comparando el caso de $D/T = 0.3$ a $S_A = 4$ con $D/T = 0.4$ a $S_A = 4$, se obtuvo un incremento 22.27% en la turbulencia y 59.40% en la potencia, debido a que hay una relación directamente proporcional entre el diámetro del impulsor respecto a la turbulencia y potencia.

Este mismo análisis se aplica para el caso de $D/T = 0.3$ a $S_A = 5$ con $D/T = 0.4$ a $S_A = 5$.

3.4.2. Motor

Los requerimientos de energía del sistema de agitación son suministrados por el motor, se recomienda emplear un moto-reductor con un sobre dimensionamiento del 80%, respecto al resultado teórico encontrado, porque de esta manera se minimiza el riesgo de que el motor sufra una sobre carga y se averíe o dañe de manera irreparable.

3.4.3. Tanque almacenador de H_2SO_4

Se recomienda emplear un tanque en acero inoxidable o fibra de vidrio con capacidad de 1374 L, este cumpliría la función de almacenamiento y suministro de H_2SO_4 para el proceso de floculación de la grasa a partir del SN. Se instalaría a una altura superior a la del tanque extractor de grasa, para aprovechar la descarga por medio de gravedad y evitar de esta manera el uso de bombas impulsoras u otro sistema de bombeo.

3.4.4. Vertimiento del H_2SO_4

La descarga del ácido sulfúrico al tanque extractor de grasa se debe realizar lo más cerca al eje del sistema de agitación de acuerdo a los estudios realizados por Bouwmans ([Bouwmans et al., 1997](#)) y Bhattacharya ([Bhattacharya y Kresta, 2006](#)), porque cerca al eje se crea un vórtice que actúa como túnel entre la superficie y el fondo del tanque y de esta manera se favorece el contacto del H_2SO_4 , con el SN en fondo del tanque.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de agitación con una relación de $D/T = 0.4$ a $S_A = 4$, es el más conveniente, porque se encuentra en un régimen turbulento suficiente para realizar una mezcla uniforme y garantizar el contacto entre el H_2SO_4 y el SN, disminuyendo los requerimientos energéticos para el proceso.

La construcción del tanque en acero inoxidable es la más apropiada porque, este material tiene mayor tolerancia a la tracción, flexión, y golpes respecto, al tanque en fibra de vidrio.

Con la propuesta del diseño tanque extractor de grasa, se incrementa en un 12.4% la producción

empleando SNC y 8.3% con el SNO, de acuerdo a los reportes suministrados por la empresa.

El SNO, es menos conveniente para la extracción de grasa porque requiere mayor cantidad de ácido para alcanzar el punto de IA requerido en la industria y porque a partir de este se extrae una menor cantidad de grasa.

En caso de realizarse la construcción del equipo se recomienda ajustar los datos de adición de H_2SO_4 a nivel industrial, con los datos experimentales, realizados en la escala laboratorio y mayor escala, para evitar desperdicio de ácido o por el otro lado si se requiere mayor adición del mismo.

Realizar estudios o alternativas para el tratamiento de los residuos generados posteriores a la reacción entre el SN y el ácido para minimizar el impacto ambiental causado por las cantidades de H_2SO_4 presentes.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan sus agradecimientos al Grupo de Investigación Ambiental (GIA) y a la Curtiembre prestadora de sus instalaciones.

REFERENCIAS

- Adzet, J.M. (1985). *Química y Técnica de la Tenería. Procesamiento de Pielés*, Romanyá Nalls, Barcelona.
- Armenante, P.M., Nagamine, E.U. (1997). Effect of low bottom impulsor clearance on the minimum agitation speed for complete suspension of the solids in stirred tanks. **53**:1757-1775.
- Bhattacharya, S. y Kresta S.M. (2006). Reactor performance with high velocity surface feed. *Chemical Engineering Science*. **61**:3033-3043.
- Bouwmans, I., Bakker A., Van, D., Akker, H.E.A. (1997). Blending liquids of differing viscosities and densities in stirred vessels. *Institution of Chemical Engineers*. **75**:777-783.
- Chapple, D. y Kresta, S.M. (2002). The effect of impulsor and tank geometry on power number for a pitched blade turbine. *Trans IChemE*. **80**:364-372.
- Curtiembre. Datos proporcionados por la empresa patrocinadora del proyecto (2010).
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. Fabricación de Grasas y Aceites Vegetales y

Subproductos. Fecha Julio de 1998. Edición Primera.

Ateortua R., Distribuidor de grasas y elementos de producción de jabones. Medellín, 23 de Abril de 2010.

Fasano, J.B. y Bakker, A. (1994). Advance Impeller Geometry Boosts Liquid Agitation. *Chemical Engineering*. **101**:110-116.

Fentiman, N.J., Lee K.C., Paul G.R., Yianneskis M. (1999). On the trailing vortices around hydrofoil impulsor blades. *Trans IChemE*. **77**:731-740.

HICKS, R.W., y Morton J.R. (1976). How to design agitators for desired process response. *Chemical Engineering*. **83**:102-110.

Kresta S.M., Mao D., Roussinova V. (2006). Batch blend time in square stirred tanks. *Chemical Engineering Science*. **61**:2823–2825.

Mirasolain, A. (2007). *Las Grasas Como Materia Prima*, La Biosfera, Barcelona.

OVT. (Vives, L.) (2000). Samples.pdf. En línea, en Consumo de grasa a nivel mundial, [www.lluisvives.com/servlet/SirveObras/.../006998_2.pdf]. Consultado en 2010-04-26.

Paul, E.L., Atiemo-Obeng, V., Kresta S. (2004). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. John Wiley & Sons, inc., New Jersey.

Petroleum products and lubricant determination of acid or base number: colour indicator titration method, Korea: ISO, 2003 (NORMA ISO; No 6618).

Roussinova, V.T., Grgic, B., Kresta, S.M. (2000) Study of macro-instabilities in stirred tanks using a velocity decomposition technique. *Trans IChemE*. **78**:1040-1052

TAEK JEONG G., YANG H.S., PARK D.H. (2009). Optimization of transesterification of animal fat ester using response surface methodology. *Bioresource Technology*. **100**:25-30.

TEMELLI, F. (2009). Perspectives on supercritical fluid processing of fats and oils. *The Journal of Supercritical Fluids*. **47**:583-590.

Valiveti S., Wei Lu G. (2007). Diffusion properties of model compounds in artificial sebum. *International Journal of Pharmaceutics*. **345**:88-94.

Vian Ortuño, A. (1996). *Introducción a la Química Industrial*. Reverté, Barcelona.

SOBRE LOS AUTORES

Rodrigo García Restrepo

Ingeniero Químico de la Universidad de Antioquia. Se ha desempeñado como Jefe de Producción, Jefe de Laboratorio y Jefe Sección de Curtición, en una importante Curtiembre Colombiana.

Mariluz Betancur Vélez

Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. En la actualidad se desempeña como Docente Investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana en la Facultad de Ingeniería Química, y es Jefe Línea de Gestión y Valorización de Residuos.

Julián Rincón Bautista

Estudiante de décimo semestre de Ingeniería química en la Universidad Pontificia Bolivariana.