

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ingenierías
Departamento de Química e Ingeniería Química



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: "Propuesta de alternativa para mejorar la eficiencia del proceso de secado en la fábrica de cola Juan Ripoll".

Autor(a): Sady Alfonso Torres

Tutor(a): Dr.C. Yamilé Martínez Ochoa

MSc. Leiby Montes de Oca Rodríguez

Matanzas, 2013

“El científico explora lo que existe
y el ingeniero
crea lo que nunca ha existido.”

Theodore Von Karman

Dedicatoria

*A mi familia
por estar siempre conmigo,
en especial a mi madre por ser el pilar de mi vida.*

Agradecimientos

- A mi mamá por el sacrificio hecho y la ayuda incondicional en favor de mi formación.
- A mi abuela por siempre estar a mi lado y darme fuerzas para seguir adelante.
- A mi tía Glicería y mis primos Michel y Yunier por ayudarme tanto todo este tiempo.
- A mi papá por hacer suyo la realización de este trabajo.
- A mi tía Aime que aunque esté lejos no deja de alentarme.
- A mi tío Angelito que tanto se preocupa por mí.
- A mis vecinas Ania y Mirella por dedicar parte de su tiempo a este trabajo.
- A Julito y Mario Luis que estuvieron presentes cuando más los necesitaba.
- A Pitina por preocuparse, atenderme, acogerme como un hijo y por demostrarme cariño como tal.
- A mis amigas Iliet, Laura y Yexsumina por tenderme su mano amiga. y especial apoyo en todo momento de mi vida y en especial en la realización de esta investigación.
- A mi tutora Dr.C. Yamilé Martínez por dedicarme su valioso tiempo, tenerme paciencia, y contribuir con sus ideas a la creación y perfeccionamiento de este trabajo de diploma.
- A los profesores Dr.C. Agustín Benítez, Dr.C. Jesús L. Orozco y Ing. Santiago Díaz MsC. por poner sus conocimientos a mis servicios.
- A todo el claustro de profesores de la universidad de Matanzas, y en especial al Departamento de Química e Ingeniería Química, por dedicar tantas horas a mi formación e iniciar en mí la llama de la continua superación.
- A Omar por estar a mi lado ofreciéndome su apoyo.
- A Mayra e Isis por brindarme su ayuda cada vez que la he necesitado.
- A todos mis compañeros de aula, cuya presencia he extrañado en estos últimos meses, por estos cinco años de colaboración y amistad sincera.

Si falta alguien por mencionar, ruego que me disculpen, mencionar a todos es muy difícil, aunque les aseguro que todos han dejado una huella en mí.

A todos muchas gracias.

Declaración de Autoría

Declaración de autoría.

Yo, Sady Alfonso Torres, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la fábrica Juan Ripoll y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Sady Alfonso Torres

Carta de Aceptación

Nota de Aceptación.

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Para que así conste se la presente a los ____ días del mes de _____ del 20__.

Resumen

En el presente trabajo se evalúa la etapa de secado en la producción de cola de origen animal en la fábrica Juan Ripoll ubicada en Matanzas. La principal causa de esta investigación es el retraso del tiempo de residencia de las láminas de cola en los túneles de secado para que estas alcancen la humedad final y la calidad establecida. Con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de secado se evalúan los secadores mediante pruebas de secado, lo cual evidenció las deplorables condiciones técnicas en que se encuentran los túneles de secado. Basado en los resultados obtenidos se proponen alternativas, que van desde la instalación de nuevos equipos hasta el cambio de los métodos de trabajo en esta etapa del proceso. Estas alternativas se evaluarán técnica y económicamente. La evaluación técnica se realiza por medio del balance de masa para la operación de secado y del programa de simulación HYSYS. Mientras que la evaluación económica se apoya en el software CAPCOST. Se obtiene que la alternativa más factible es distribuir las cargas de sólidos en los secadores.

Summary

Summary

In this work we evaluate the stage of dried in the production of blue of animal origin in the factory Juan Ripoll ubicada in Matanzas. This main cause of the investigation is the delay of the time of residence of the glue's engraving in the dryers so that these reach the final humidity and the quality established. With the purpose of the better the efficiency of the dried's process the dryers are evaluated by means of dried's proofs, which proved the deploring technical conditions of the dryers. Based on the results obtained alternatives are proposed, that go from the installation of new equipments up the change of the methods of the work in this stage of the process. These alternatives will be evaluated technical and economically. The technical evaluation is realized be means of the balance of mass for the operation of dried and of the program of simulation HYSYS. While the economical evaluation is supported in the software CAPCOST. The most feasible alternative is distribute the loads of solids in the dryers.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis Bibliográfico.....	4
1.1- Cola. Definición.....	4
1.2- Colágeno	5
1.2.1- Tipos de colágeno	6
1.3- Fabricación de cola en el mundo.	7
1.4- Propiedades de la cola	9
1.5-Tipos de cola.....	10
1.6- Historia del uso de la cola.....	11
1.7- Comparación de la cola animal con otros adhesivos.	13
1.8-Producción de cola en Cuba.....	14
1.9- Operación de secado.....	15
1.10- Aplicación de la operación de secado.....	16
1.11-Secadores para la cola animal.....	18
Conclusiones Parciales.....	20
Capítulo II: Materiales y Métodos	21
2.1- Descripción tecnológica	21
2.2- Evaluación tecnológica de los túneles de secado en las condiciones actuales de trabajo.....	26
2.3- Análisis técnico de las alternativas propuestas.....	33
2.3.1- Evaluar la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.....	33
2.3.2-Evaluación técnica de la propuesta distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.....	37
2.3.3-Evaluación técnica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.....	38

Índice

2.4- Análisis económico de las alternativas propuestas.....	41
2.4.1- Evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.....	41
2.4.2- Evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.....	44
2.4.3- Evaluación económica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.....	44
Capítulo III: Análisis de los resultados	46
3.1- Análisis de la evaluación tecnológica de los túneles de secado en las condiciones actuales de trabajo.	46
3.2-Análisis de la evaluación tecnológica de la propuesta de instalación de un nuevo extractor.	57
3.3- Análisis de la evaluación técnica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.....	62
3.4- Análisis de la evaluación técnica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.	66
3.5-Análisis de la evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.....	69
3.6-Análisis de la evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.	70
3.7- Análisis de la evaluación económica de la propuesta de instalar una columna de absorción gaseosa.	72
3.8- Comparación de las propuestas de alternativas.	74
Conclusiones Parciales.....	77
Conclusiones	79
Referencias Bibliográfica.....	80
Anexos	83

Introducción

Introducción

La cola animal es un adhesivo creado por ebullición prolongada del tejido conectivo de los animales. Sus primeros usos se remontan al año 2000 A.C. en muebles de madera y en el recubrimiento de pinturas murales y manuscritos. Nativos americanos usaban pegamento de pezuña principalmente como un aglutinante y como material protector para las superficies expuestas ya que es resistente al agua. Además, utilizaban ocasionalmente cola de piel como pintura para lograr patrones después de aplicar pigmentos y como curtido para cueros. Hoy en día, las colas de los animales son escasamente industrializadas, pero aún se utilizan para la fabricación y restauración de objetos, pinturas, manuscritos iluminados, pergaminos, y otros artefactos. La cola animal era el pegamento de madera más común hace miles de años atrás hasta el advenimiento de las colas sintéticas tales como acetato de polivinilo (PVA) y las demás colas de resina en el siglo XX.

La primera producción de cola como adhesivo de forma industrial fue en Holanda, alrededor del año 1700. En Estados Unidos la fábrica de pegamento abrió por primera vez en 1899, establecido por la industria de curtido de Milwaukee. Una gran empresa conocida como DL Davis, prosperada a partir de la producción de cola animal durante la Gran Depresión, y cambió su enfoque de comercialización, dedicándose a la venta de cola de origen animal a los fabricantes de cajas locales y otras necesidades. DL Davis también ha desarrollado una fórmula personalizada de cola animal para la encuadernación y sigue produciendo hasta hoy.

En Cuba se produce este tipo de pegamento. La fábrica encargada de ello es la fábrica de cola Juan Ripoll ubicada en las márgenes del río Yumurí en la ciudad de Matanzas. Es la única en el país dedicada a la producción de la cola a partir de la recortería desalada y precurtida de la industria tenera cubana.

Su origen lo constituye un pequeño establecimiento perteneciente a propietarios privados que en virtud del proceso de nacionalización llevado a cabo con el triunfo de la Revolución, fueron ampliadas sus capacidades productoras. En la década de los años 80, esta industria muestra su mayor esplendor logrando producciones de

Introducción

300 toneladas por año y una fuerte actividad técnica en pos de mejores producciones. Sin embargo, en los últimos años esta industria ha disminuido considerablemente sus volúmenes de producción.

El equipamiento de esta fábrica data de mediados del siglo XX y muestra un avanzado estado de deterioro e ineficiencia, trayendo consigo que el renglón cola se ha deprimido considerablemente a nivel nacional. Sin embargo el producto que obtiene resulta de interés para la fabricación de fósforo fundamentalmente y no existe otro proveedor en la zona por lo que cualquier acción técnica para mejorar la eficiencia del proceso de producción y la calidad de la cola resulta importante.

Uno de los aspectos donde se refleja la ineficiencia de esta fábrica es en el incumplimiento de las fechas de entrega de los lotes de producción debido fundamentalmente a la dilatación de la etapa de pre-evaporación, concentración y secado, pues el tiempo de operación de cada una de ellas es mayor que el normado, presentándose así el siguiente problema:

Problema: El tiempo de residencia de las láminas de cola en los secadores para lograr que la calidad y el contenido de humedad requerido, es superior al establecido.

Hipótesis: Si se evalúan los túneles de secado de la fábrica de cola Juan Ripoll se podrá realizar una propuesta de alternativa que contribuya a disminuir el tiempo de residencia de los secadores.

Objetivo General:

Proponer una alternativa que mejore la eficiencia del proceso de secado en la fábrica de cola Juan Ripoll para perfeccionar la producción de este producto en el país.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar tecnológicamente los túneles de secado en las condiciones actuales de trabajo.
2. Analizar desde el punto de vista técnico y económico las alternativas tecnológicas que mejoren la eficiencia de los secadores existentes en la fábrica.
3. Proponer la alternativa más factible que contribuya a la disminución del tiempo de residencia de la cola en los secadores.

Capítulo I: Análisis Bibliográfico

En el siguiente capítulo se reflejan los tópicos más importantes encontrados en la búsqueda bibliográfica realizada sobre la producción de la cola animal como adhesivo; el colágeno, que es la fibra a partir de la cual se obtiene dicho material, así como un estudio detallado del proceso de secado de la fábrica, ya que es uno de las etapas principales en el proceso de obtención de cola.

1.1- Cola. Definición

Idris, *et al* (2010) define la cola animal como un adhesivo que es creado por ebullición prolongada del tejido conectivo de los animales.

Por otro lado, Pearson (2003) ofrece una información más amplia de este material: "Las colas animales están formadas por gelatina, que se obtiene a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos. Estas proteínas se forman a través de la hidrólisis del colágeno de las pieles, huesos, tendones y otros tejidos, similares a la gelatina. Se presentan en forma sólida (tabletas, láminas, escamas, sémola y perlas), o líquida. Por su origen pueden ser de conejo, ovinos y bovinos, obteniéndose a partir de la cocción de pieles, huesos o residuos de los animales; por otro lado se obtienen también las de pescado, entre las cuales sobresale la de esturión por ofrecer mayor calidad. Las colas animales se siguen utilizando en restauración por sus buenas propiedades y características similares a las empleadas originalmente, así como su reversibilidad con agua caliente, aunque presentan los inconvenientes de su preparación, conservación, endurecimiento y cristalización."

Para Vargas, (2003) la cola animal es un material de peso molecular bajo producido por tratamiento más energético en comparación con los realizados con ácidos, álcalis o agua caliente, de fuentes de colágeno menos tratables. La describe como un material normalmente oscuro e impurificado.

1.2- Colágeno

En cuanto a esta proteína Vargas (2003) agrega que el colágeno, en forma de fibras insolubles o agregados fibrosos, es la proteína constituyente principal de las capas intercelulares o tejidos conjuntivos fibrosos, los cuales son los mayores elementos estructurales en la anatomía de los vertebrados. Está formado por una cadena de tres polipéptidos que a su vez se compone de 1000 aminoácidos unidos por enlaces de hidrógeno, formando una espiral muy apretada las moléculas se empaquetan en fibrillas, y estas a su vez en fibras mayor tamaño. El colágeno comprende entre el 30 y el 60% del contenido de proteína total de los mamíferos, y más del 30% del contenido total de la materia orgánica. Las localizaciones primarias de la proteína son en la piel, los huesos y los tendones, y en base seca, el lecho del corium de la piel (por ejemplo en la dermis), se hallan constituidos por un 90 a 95% de colágeno. No obstante, las fibras colágenas no se hallan exclusivamente confinadas en dichas regiones, sino que también puede ser encontrado en cada tejido y órgano viviente.

- **Propiedades Generales**

El colágeno nativo (que no ha sufrido ninguna modificación de su estructura inicial; así pues posee íntegramente sus cadenas polipeptídicas y sus telopéptidos) puede ser soluble o insoluble. Posee propiedades muy particulares que no se encuentran en los productos de degradación, es decir, en la gelatina.

La reactividad bioquímica del colágeno nativo proviene, sustancialmente, de los telopéptidos de las extremidades de la cadena polipeptídica, y de su propia estructura.

Las películas preparadas a partir de soluciones de colágeno nativo son muy resistentes.

Las películas de colágeno nativo se adhieren fuertemente a las capas de la epidermis humana. Además, poseen un importante poder de retención de agua.

El colágeno nativo extendido sobre la piel posee un aspecto de alisamiento sobre las pieles secas, disminuyendo el aspecto arrugado y exfoliado de las pieles ancianas. (Vargas, 2003)

1.2.1- Tipos de colágeno

Colágenos mayores: Estos se categorizan desde el tipo I hasta el V. están formados por la asociación en triple hélice de dos cadenas polipeptídicas idénticas. Poseen organización supramolecular en finas fibrillas. Se encuentran en:

- ✓ Todos los tejidos conjuntivos (tipo I y III)
- ✓ A nivel del hueso y dentina (tipo I)
- ✓ A nivel de cartílagos y del humor vítreo ocular (tipo II)
- ✓ En las membranas basales (tipo IV)
- ✓ La zona pericelular y en asociación con las fibras de colágeno intersticial (tipo V)
- Nuevos colágenos: Se clasifican del VI al VIII. Son colágenos embrionarios de tipo I trímero. Formados por tres cadenas polipeptídicas diferentes (cadenas cortas). Se encuentran:
 - ✓ Formando una triple hélice de pequeña longitud (tipo VI).
 - ✓ Formando una triple hélice de larga longitud (tipo VII).
- Colágenos menores: Son del tipo IX y X.

Colágeno tipo IX: Formado por dos fragmentos: HMW y LMW. El HMW (*high molecularweight*) está compuesto por tres cadenas diferentes que presentan puentes disulfuro intercatenario en el centro del fragmento. El LMW (*low molecular weight*) igualmente posee tres cadenas diferentes con puentes disulfuro.

Colágeno tipo X: Posee una parte globular no colagénica en un extremo de la molécula. No posee puentes disulfuro. Este colágeno parece que sólo se sintetiza durante la formación del cartílago o en el interior de los geles de colágeno. (Vargas, 2003)

Tanto Idris, *et al* (2010) como Pearson (2003) y Vargas (2003) coinciden en que el colágeno comercial puede presentarse de diferentes formas, sólido o líquido; y que éste se extrae industrialmente de la dermis y de tendones de bóvidos y del cerdo, aunque en esto último, Idris, *et al* (2010), brinda una mayor cantidad de animales de los cuales se puede obtener cola adhesiva.

1.3- Fabricación de cola en el mundo.

La primera fabricación de cola industrial a partir de pieles se inició en Holanda alrededor del año 1700. En Estados Unidos la fábrica de pegamento abrió por primera vez en 1899, establecido por la industria de curtido de Milwaukee. Una gran empresa conocida como DL Davis, prosperada a partir de la producción de cola animal durante la Gran Depresión, y cambió su enfoque de comercialización, dedicándose a la venta de cola de origen animal a los fabricantes de cajas locales y otras necesidades. DL Davis también ha desarrollado una fórmula personalizada de cola animal para la encuadernación y sigue produciendo hasta hoy. Durante los siglos XVIII y XIX, muchos ganaderos podían enviar sus animales viejos a las fábricas de pegamentos para obtener un beneficio de lo que ellos consideran "animales inútiles." Muchas industrias surgieron otros pegamentos y rápidamente la cola animal se cayó en popularidad con la llegada de los sintéticos adhesivos. (Pearson, 2003)

- Fabricación de colas animales

Los autores Pearson (2003), Vargas (2003), Idris, *et al* (2010) y Oberthür, (2011) coinciden en que la producción de la cola comercial consta de las siguientes etapas:

- Recepción
- Lavado
- Tratamiento térmico
- Concentración
- Secado

No obstante, son Vargas (2003) y Pearson (2003) los que ofrecen una mayor información en cuanto a la metodología a seguir para la producción de cola.

Ambos autores coinciden en que la principal materia prima de la producción de cola es el cuero resultante del desecho de las fábricas de curtido. Estos autores reportan que en la etapa de lavado las pieles son remojadas con agua saturada de cal, con el objetivo de preparar el colágeno para su posterior extracción por

Capítulo I

hidrólisis. Luego, se separa la cal del cuero con abundante agua y ácido, que puede ser ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, para ajustar el pH.

En la etapa de hidrólisis o tratamiento térmico, Vargas (2003) y Pearson (2003) están de acuerdo de que esta se debe realizar con agua a elevada temperatura. El objetivo de esta etapa es obtener una serie de soluciones diluidas de cola, por lo que se deben efectuar, según Pearson (2003) cuatro extracciones para que toda la cola esté completamente extraída.

Vargas (2003) no hace ninguna referencia en cuanto a la etapa de concentración, sino que pasa directamente a describir la etapa de secado y las formas en las que la cola se puede expender al mercado.

Pearson (2003) por su lado, si detalla la etapa de concentración, en la que a su criterio, la cola diluida debe ser filtrada, ya que posee entre 2 y 9% de cola sólida, y es concentrada en evaporadores al vacío hasta obtener un valor de 20 a 50% antes de ser secada.

En cuanto al hecho de filtrar las soluciones de cola, Vargas (2003) alega que generalmente esto no se debe realizar, sino que se puede decolorar y añadir agentes preservantes.

Los métodos de producción de cola de Pearson (2003) y Vargas (2003) tienen en la etapa de secado otro punto en común. Estos autores exponen que las soluciones concentradas de cola se dejan solidificar en forma de gelatina, y luego son cortadas en planchas gruesas que son apiladas en alambres con espacios entre ellas, entonces, son secadas en túneles de secado en los cuales circula aire caliente sobre las láminas de gel, lo que tomará 48 horas para que estén completamente secas.

Con respecto a la etapa de secado, Pearson (2003) agrega que además de la operación discontinua, esta se puede llevar a cabo de forma continua. De esta manera, las soluciones de cola concentradas son enfriadas hasta el punto de gelificación y secadas en forma de pasta mediante la circulación de aire acondicionado, purificado y caliente, las cuales estarán totalmente secas al cabo de 2 ó $2\frac{1}{2}$ horas.

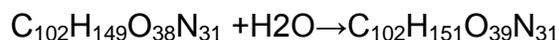
Capítulo I

Existen diferentes maneras en las que se puede vender la cola. Una de ellas, es la llamada cola escocesa, en la que la cola es vendida en forma de planchas gruesas. Otro modo de vender la cola, es molida en forma de polvo, el cual es más práctico de emplear y permite al fabricante la mezcla de diferentes tipos de cola. Esta puede salir al mercado también como cubos o perlas, y en forma de solución concentrada en caliente obtenida del evaporador.

1.4- Propiedades de la cola

La cola animal es un derivado de la hidrólisis de la proteína que compone al colágeno del cuero y los huesos de los animales. La conversión a la proteína soluble de cola animal involucra la ruptura intra e intermolecular de la cadena polipeptídica por medio de ácido, álcalis y calor (Vargas, 2003)

La cola animal es descrita por Idris, *et al*, (2010) como colágeno hidrolizado como se muestra a continuación:



En la siguiente tabla se muestra la composición química aproximada de la proteína de la cola según Idris, *et al*, (2010) es:

Tabla 1.1: Composición química de la proteína de la cola

Carbón	50.3%
Hidrógeno	6.2%
Oxígeno	25.6%
Nitrógeno	17.8%

La cola comercialmente disponible comercialmente se vende de forma granular o pulverizada, y seca, dura, inodora y su color varía desde ámbar hasta carmelita y puede ser almacenada de forma seca por un tiempo indefinido. (Idris, *et al*, 2010)

Capítulo I

Propiedades físicas (Idris, *et al*, 2010):

- ✓ Densidad: 1.27 kg/m³
- ✓ Contenido de humedad: 8 a 15% (para que esté considerada seca)
- ✓ Contenido de cenizas inorgánicas: 2.0 -5.0%
- ✓ Contenido de grasas: 0.2- 3.0%
- ✓ pH: 5.5 - 8.0

La cola de origen animal es insoluble en aceites, grasas, ceras, alcoholes y otros solventes, siendo entonces solamente soluble en agua. En agua fría, las partículas del colágeno absorben el agua, obteniéndose una gelatina esponjosa. La gelificación es una reacción reversible, y con la aplicación de calor, el gel puede convertirse en estado líquido. El punto de gelificación está alrededor de los 120°F, dependiendo del contenido de colágeno, calidad de esta y la presencia de modificadores. (Oberthür, 2011)

Debido a sus propiedades anfóteras, la cola posee cargas eléctricas lo cual le confiere modificaciones que pueden ser beneficiosas o no, para la adición química simple que poseen. Estas beneficiosas modificaciones son altamente eficientes como floculante y protector de coloides, por lo cual tiene una gran aplicación en la producción de papel, caucho, en el refinamiento de metales y minerales, y en el tratamiento industrial de agua. Tiene un amplio rango de viscosidad, el cual puede fluctuar desde valores tan cercano al valor de la viscosidad del agua hasta exceder los 70 000 cP. Fuerza de tensión 10 000 Psia como máximo. (Pearson, 2003)

1.5-Tipos de cola

Según Idris, *et al*, (2010) existen diferentes tipos de cola animal que se dan a continuación:

- Cola de liebre: Cola elaborada a partir de la piel y los cartílagos de liebre.
- Cola de conejo: Cola de origen animal, empleada en el tratamiento de consolidación decapa pictórica, adhesivo, etc. Presentación en placas, granulado.

Capítulo I

- Cola de cartílagos: Alta adhesividad, similar a la cola de conejo, pero procedente del ganado bovino. Presentación en gránulos.
- Cola de carpintero: Tradicionalmente llamada cola de pencas o cola fuerte, ha sido actualmente sustituida por la cola blanca para su empleo en carpintería. Utilizada en los métodos tradicionales de sentado de color y en la pasta de la forración de cuadros. Se suministra en perlas y placas.
- Cola de encuadernación: Cola de origen animal de color claro, en polvo para encuadernación y trabajos de dorado.
- Gelatina de pescado: Cola de origen animal que toma materia prima en su composición las espinas y los subproductos de pescado. Por su escaso peso molecular y su menor viscosidad en concentraciones bajas es ideal para la protección y consolidación de capas pictóricas. Presentación en láminas y polvo
- FU-NORI: Cola a base de un mucílago extraído de tres algas marinas; se utiliza para consolidar pinturas mates y obra gráfica por sus excelentes propiedades ópticas.
- Cola de esturión rusa: Adhesivo preparado con las espinas y pieles de este pez; es la cola más pura y compacta, y la que ofrece mayor adhesividad en concentraciones más bajas, por lo que su grado de penetración es también mayor. Estas características la hacen muy apropiada para consolidación de capa pictórica y de preparación. Su empleo es más frecuente en los países nórdicos y del este de Europa.

1.6- Historia del uso de la cola

- Los primeros usos de cola animal

Según Hepworth, *Smith* (2002) la cola animal ha existido desde la antigüedad. Hay evidencia de que los neandertales utilizaban cola en sus pinturas para proteger sus obras a partir de la humedad. Los primeros procedimientos escritos que se conocen de cómo hacer cola animal fueron escritos alrededor del año 2000 antes de Cristo, afirma Oberthür (2011).

Capítulo I

Entre 1500-1000 AC, fue utilizada en muebles de madera y en pinturas en murales, y se ha encontrado, incluso en los ataúdes de los faraones egipcios. La evidencia se encuentra en forma de esculturas de piedra que representa la preparación y el uso de pegamento, utilizado principalmente para la tumba de los faraones. Registros egipcios indican que la cola animal se hacía mediante la fusión sobre el fuego que se quema y luego se aplica con un pincel; asegura (Pearson, 2003).

Los griegos y los romanos más tarde utilizan la cola animal y de pescado para el desarrollo de recubrimiento y marquetería, y en la unión de las secciones delgadas o capas de madera. (Idris, *et al*, 2010)

Según Vargas (2003) alrededor de 906-618 antes de Cristo, en China, se utilizaron los cuernos de pescado, buey y de ciervo para producir adhesivos y pegamentos para los pigmentos. Alega además, que las colas de origen animal fueron empleados como aglutinantes de pintura y se investigó con fines medicinales durante la dinastía Tang.

Pearson (2003) indica que uno de los componentes esenciales de la tinta negra de humo era un pegamento proteínico, y que la cola elaborada a partir de cuernos de ciervo era utilizada como un conservante, formando una película sobre la superficie ya que la tinta se seca.

- El resurgimiento de cola animal.

El uso de la cola de origen animal, así como otros tipos de colas, desapareció en gran parte después del Imperio Romano hasta alrededor del año 1500 y el año 1700, cuando los muebles de madera comenzaron a surgir como un arte. Durante los tiempos medievales, cola de pescado sigue siendo una fuente de la pintura y la iluminación de manuscritos. En el siglo XVI, cola de piel se utilizó en la construcción de violines. (Idris, *et al*, 2010)

Nativos americanos usarían pegamento de pezuña principalmente como un aglutinante y como material protector para las superficies expuestas ya que resistente al agua; utilizaban ocasionalmente cola de piel como pintura para lograr patrones después de aplicar pigmentos y como curtido para cueros. (Hepworth, Smith, 2002)

Capítulo I

El pegamento de pezuña sería utilizado para los propósitos aparte, como un conservante cabello o para enlazar las plumas y el equipo en conjunto, afirman los autores.

- Usos modernos.

Hoy en día, las colas de los animales son escasamente industrializadas, pero aún se utilizan para la fabricación y restauración de objetos, pinturas, manuscritos iluminados de pergamino, y otros artefactos. También encontramos la gelatina, una forma de cola de origen animal, en muchos de nuestros productos hoy en día, tales como la gelatina, malvaviscos, y las cápsulas farmacéuticas. También se utiliza para reforzar tendones, envolturas de madera, corteza, y el papel. (Oberthür, 2011)

La cola animal era el pegamento de madera más común para miles de años hasta el advenimiento de las colas sintéticas tales como acetato de polivinilo (PVA) y las demás colas de resina en el siglo XX. Actualmente se utiliza principalmente en aplicaciones especializadas, tales como lutería, construcción de tubo de órgano, piano, reparaciones y restauración de antigüedades. Artistas de vidrio aprovechan la capacidad que posee la cola de piel para vincularse con el vidrio. A medida que el pegamento se endurece se encoge, astillando el cristal. (Idris, *et al*, 2010)

Según Hepworth, Smith, (2002) fibras de materiales naturales derivadas de animales, especialmente el tendón y la cola animal han sido usadas desde hace miles de años en estructuras de alto rendimiento en la arquitectura. Esta combinación de materiales fue diseñada para proveer el aumento de la tensión elásticas en dichas estructuras, aseguran los autores.

Hepworth, Smith, (2002) plantea, que en los inicios de la producción de compuestos de cola animal, estos eran destinados a la industria médica, donde el colágeno es utilizado para hacer prótesis de ligamentos y pieles artificiales, además, pueden actuar como sustento para la regeneración de tejidos.

1.7- Comparación de la cola animal con otros adhesivos.

Con la cola animal pueden unirse superficies, si estas son susceptibles de ser humedecidas por agua y si una de ellas es permeable al agua. La cola animal

Capítulo I

tiene ciertamente desventajas en comparación con algunas colas sintéticas que pueden emplearse para las mismas finalidades. La solidificación es más lenta a altas temperaturas. En condiciones húmedas las juntas se debilitan considerablemente y pueden quebrarse fácilmente cuando se les somete a esfuerzo. Por otra parte, la cola animal posee algunas ventajas sobre las colas sintéticas. Como raramente se emplean endurecedores, las soluciones preparadas de cola animal tienen un tiempo de empleo útil muy largo y una duración de almacenamiento indefinida en comparación con las colas sintéticas. Las colas animales de buena calidad no se cuarteán en una línea gruesa de cola. La cola seca no es tan dura como la cola fenólica y de urea-formaldehído y es menos perjudicial para las herramientas de corte.

La más importante propiedad de la cola animal es, su poder de gelificación y su principal ventaja radica en la explotación de esta propiedad. La rápida solidificación inicial de una junta encolada, producida por gelificación, es útil en el ensamblaje de estructuras en las que la unión por abrazadera es difícil o inconveniente. La rápida aparición de adhesividad en las colas animales cuando solidifican en forma de gel las hace útiles en aplicaciones tales como el pegado de tejido o madera, encuadernación de libros, fabricación de cartonajes en máquinas de alta velocidad y en la fabricación de papel engomado. (Vargas, 2003)

1.8-Producción de cola en Cuba.

En Cuba la fábrica Juan Ripoll ubicada en las márgenes del río Yumurí en la ciudad de Matanzas, es la única en el país dedicado a la producción de la cola. Su origen lo constituye un pequeño establecimiento perteneciente a propietarios privado que en virtud del proceso de nacionalización llevado a cabo con el triunfo de la Revolución, fueron ampliadas sus capacidades productoras. En la década de los años 80, esta industria muestra su mayor esplendor logrando producciones de 300 toneladas por año y una fuerte actividad técnica en pos de mejoras producciones.

En los últimos años esta industria ha disminuido considerablemente sus volúmenes de producción.

Capítulo I

Su equipamiento que data del siglo XX se muestra deteriorado e ineficiente. La materia prima para la producción de la cola constituye el colágeno, consistente proteico principal de las pellejos de animales, tejidos conectivos y huesos, por lo que sus principales fuentes constituye las recortes de piel desechables en las tenerías y desperdicias de los mataderos (huesos, pezuñas, rabos, patas, etc.). La única fuente de materia prima de la fábrica Juan Ripoll, es la recortería y cueros salados no aprovechables por las tenerías.

1.9- Operación de secado

El término de secado se refiere generalmente a la extracción de humedad de una sustancia, ya sea sólida o líquida, por medio de la evaporación a través de una corriente gaseosa donde frecuentemente la humedad es agua y el gas es aire. (Treybal, 1985)

Por otro lado, Sahin, Dincer (2002) acotan que el secado es un proceso térmico complicado, en el cual la transferencia de calor y humedad ocurren simultáneamente; donde el calor es transferido por convección desde el aire caliente hasta el producto, para elevar la temperatura del sólido y de la humedad presente en él.

Según Hagh, Amanifard, (2008) la operación de secado es un proceso complejo que involucra simultáneamente la transferencia de masa, calor y el transporte de momento. Es un proceso en el que se vaporiza la humedad, a veces en vacío, pero normalmente fluye una corriente por medio o por encima de la superficie húmeda. (Rizzi Jr. A. C. *et al.*, 2009)

En la operación de secado se aumenta el calor a través de una fuente externa por transmisión, conducción o radiación, o se puede generar calor dentro del cuerpo sólido por medio de una resistencia eléctrica. (Assis. A. *et al.*, 2005)

La efectividad del proceso de secado depende de diferentes factores: método de transferencia de calor, continuidad (o discontinuidad) del proceso, dirección de los fluidos caloríficos con respecto al producto (presión atmosférica, bajo u hondo vacío). (Peralta, Schmalko, 2007)

Capítulo I

La transferencia de humedad en la operación de secado ocurre cuando esta viaja por la superficie del producto y luego circula en el aire como vapor de agua. Donde la fuerza motriz para la evaporación es la diferencia entre la presión del vapor de agua en el producto y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera, siendo esta última mucho más baja que la del producto. Es por ello que, el gradiente de humedad resultante, ocurre por la migración de la humedad desde el seno del producto a través de los microporos por la superficie húmeda, hasta en el interior del aire circulante donde es evaporado. (Sahin, Dincer, 2002)

Este proceso se puede llevar a cabo en diferentes tipos de equipos, tales como: armario de aire, cinturón de secado, túnel de secado, cama fluidizada, rocío más seco, tambor secador, espuma más seca, entre otros. (Ambrosio-Ugri. *et al*, 2007)

La descripción clásica del proceso de secado contempla 2 períodos distintos: el primer período ocurre cuando la superficie del material está saturada y el régimen de secado es constante, el segundo período aparece cuando la difusión interna es significativa y el régimen de secado disminuye (régimen decreciente). La existencia del régimen constante está influenciada por dos restricciones: la presión superficial es igual a la presión de saturación y el área de transferencia de masa es constante. Si durante el secado de materiales deformables la segunda condición no se satisface, el régimen constante no se observa. (Chemkhi, *et al*, 2005)

El proceso de secado es uno de los procesos más consumidores energía encontrados en la industria química. Considerando el alto costo de la energía y las cuestiones medioambientales, el incremento de la eficiencia térmica es de primera importancia. La aplicación de novedosas tecnologías como la combinación de la convección con fuentes de radiación térmica, que aceleran el proceso de secado, incrementan la capacidad de los secadores y disminuyen el despilfarro de calor. (Honarvar, Mowla, 2012)

1.10- Aplicación de la operación de secado

Diversos autores coinciden en que el proceso de secado es muy aplicado industrialmente. Calzetta. *et al*. (2005) afirman que es especialmente utilizada en

Capítulo I

la industria maderera y alimenticia, mientras que Carmo, Lima, (2008) alegan que es frecuentemente utilizada en la producción de materiales diversos, así como para mejorar las condiciones de almacenamiento y de transporte.

Durante el proceso de secado el material sufre deformaciones del volumen, usualmente referida como encogimiento. Si esta reducción es ideal, entonces equivale al volumen de agua extraída. Se conoce que este encogimiento durante el proceso de secado está relacionado con las condiciones de operación. (Stakić. *et al.*, 2011)

Según estos autores y Silva. *et al.*, (2012) en los materiales en los que se forman cristales, dicha reducción está relacionada con la temperatura de transición y la formación de corteza.

La primera teoría contempla sólo el efecto de la temperatura. Donde ocurre un efecto de plasticado al poseer un elevado contenido de humedad y ser baja la temperatura de transición del sólido al vidrio. De esta manera el material puede sufrir una transición desde un estado engomado a un estado de cristalización; mientras más baja sea la temperatura de secado, mayor será la magnitud de la transición. Como esta transición restringe la reducción del volumen, se sugiere disminuir la temperatura de secado para lograr que la magnitud del encogimiento disminuya también, y en consecuencia, se logre elevar la porosidad del material. (Stakić. *et al.*, 2011)

La teoría de la transición del vidrio es válida cuando el contenido de humedad y el gradiente de temperatura dentro del material no son lo suficientemente fuertes causa de la transición de la fase parcial. Debido al efecto de plasticado, el material solo sufre la transición al final del proceso de secado. (Silva. *et al.*, 2012)

La formación de corteza puede ocurrir durante el secado debido a la formación, dentro del material seco, de un alto gradiente de contenido de humedad. Esta superficie dura no solo impide la reducción del volumen, sino también la remoción de la humedad. (Silva. *et al.*, 2012)

La formación de corteza, en cambio, ocurre tan pronto la superficie del material alcance un valor de contenido de humedad bastante bajo, lo cual puede ocurrir al

principio del proceso. Por eso, las condiciones de secado se determinan según las características físicas del material a secar. (Stakić. *et al.*, 2011)

1.11-Secadores para la cola animal

Simón (2010) propone el secador de tambor simple con rodillo aplicador como se muestra en la figura 1 para el secado de cola animal basado en gelatina; debido a que este es un tipo más especializado de secado para la industria química.



Figura 1: Secador de tambor simple con rodillo aplicador propuesto por Simón (2010) para el secado de cola animal.

El rodillo aplicador se encuentra debajo de la secadora de tambor y se sumerge en el producto. Una película de líquido se transfiere entonces al tambor de secado. La patente No. 2, 556, 954 propone un método para el secado de licor acuoso de cola animal, utilizando como equipamiento un tambor y un túnel de secado, ambos operando de forma continua. (Anexo 1)

En este método el licor de cola en estado acuoso es depositado en un recipiente, del cual es extraído por un cilindro que es conducido mediante un rodillo. A través de este cilindro el licor de cola pasa del tanque de almacenamiento a un tambor metálico de pared perforada en movimiento, por cuyo interior circula una corriente caliente que es la encargada de suministrar el calor necesario para evaporar la humedad de la cola mediante el mecanismo de transferencia de conducción a través de la pared del tambor. (Patente No. 2, 556, 954)

La capa de cola depositada sobre la superficie exterior del tambor es capaz de mantenerse sobre él por la aplicación de aire comprimido directamente hacia ella. Este aire es descargado por una tubería y convertido gradualmente en una

Capítulo I

corriente continua por baffles, provocando que la lámina de cola se adhiera al tambor; con este mismo objetivo el método cuenta con un soplador que expulsa una corriente pesada de aire.(Patente No. 2, 556, 954)

Ubicada encima de la parte superior del cilindro se encuentra una campana de ventilación, por donde son retirados del sistema el aire y el agua evaporada hasta el momento. (Patente No. 2, 556, 954)

El vapor de agua que no escapó por el conducto de ventilación, se queda retenido entre la lámina de cola y la superficie del tambor, lo que hace que se produzcan burbujas o ampollas, ocasionando que la cola no quede bien estirada sobre la pared del tambor, entorpeciendo el proceso de secado. Con el propósito de hacer escapar pequeñas burbujas de agua, previniendo así la formación de ampollas, se han colocado de forma adyacente a la parte descendente del tambor, una batería de lámparas infra-rojas que podrán alcanzar hasta 170°F, aplicando así calor radiante sobre la superficie exterior de la lámina de cola, mientras que por el lado interior el cilindro le suministra de modo simultáneo calor con una temperatura de 240°F aproximadamente.(Patente No. 2, 556, 954)

Después de pasar la lámina bajo las lámparas, es removida del tambor mediante la aplicación de un cuchillo, a la vez que, para disminuir su temperatura, se incide sobre ella una corriente de aire fresco proveniente de una tubería perforada. Hasta este punto del proceso, el contenido de humedad de la cola ha sido reducido a un 20%.(Patente No. 2, 556, 954)

Una vez separada la lámina del tambor, la cola es conducida por dos rodillos exfoliadores hacia una estera. Estos rodillos deben ser refrescados con agua salobre para lograr que la temperatura de la lámina de cola se mantenga alrededor de los 140°F, y evitar su desgaste debido a la fricción y la elevada temperatura de la lámina, y ser contruidos de algún material que permita a la cola adherirse al cilindro de la derecha, del cual será removida por un cuchillo antes de pasar a la estera. Esta cinta transportadora traslada la lámina de cola a un túnel de secado de operación continua, en el que el contenido de humedad es reducido hasta el final. Finalmente, la cola seca sale del sistema a través de una rampa. (Patente No. 2, 556, 954)

Conclusiones Parciales

1. La cola es un adhesivo de origen animal obtenido del colágeno proveniente del cuero, piel y huesos, y se obtiene por medio de tratamientos físicos, químicos y térmicos.
2. El proceso de secado es una operación unitaria en la que se evapora la humedad de una sustancia al ponerse en contacto con gas caliente, implicando la transferencia de calor y masa.
3. La reducción del volumen o encogimiento que sufre la cola durante el proceso de secado equivale a la cantidad de agua extraída está relacionada con las condiciones de operación, por lo que si se desea que esto ocurra en menor tiempo, dichas condiciones deben ser cambiadas.

Capítulo II: Materiales y Métodos

En el presente capítulo se describe el proceso tecnológico de la producción de cola de origen animal. Contiene además la metodología utilizada en la evaluación de los túneles de secado de dicha fábrica, así como el estudio técnico y económico de las alternativas propuestas con el fin de mejorar el funcionamiento de los secadores, logrando así la reducción del tiempo de secado, lo que contribuye a elevar la eficiencia de la planta por concepto de fechas de entrega de los lotes de producción.

2.1- Descripción tecnológica

2.1.1 *Materia prima. Preparación.*

En la fabricación de cola según la norma de empresa NEL 1192-06:2004 “Cola Animal Granulada. Proceso de Producción”, la materia prima que se recibe puede ser pieles enteras, faldas, crupón (cuero de la parte trasera del animal cortada en dados), recorte con y sin pelos, los cuales proceden de los mataderos, saladeros y de la industria tenera. Los recortes transportados a granel, se reciben en un área determinada, evitando que se mezclen las cargas de diferentes categorías o características.

La materia prima se corta, de forma manual, en pedazos pequeños de 24cm de largo, 17cm de ancho y un espesor que oscila entre 0,3 y 0,5cm. El objetivo del corte de la materia prima en pequeñas dimensiones es el de aumentar la superficie de contacto para así facilitar las operaciones siguientes. La materia prima cortada se traslada en carretillas con capacidad de 60 kg cada una hasta los tanques de lavado.

2.1.2 *Lavado y depilado.*

La fábrica consta de 2 tanques lavaderos de 9,6m de largo, 3,7m de ancho y 0,5m de profundidad cada uno. En estos tanques se realizan las operaciones de lavado, pelambre e hidrólisis química, en ese orden.

Capítulo II

Para realizar el lavado se vierte agua en los tanques, hasta que el nivel coincida con el aforo situado en el centro de la paleta que está sumergida, se añaden paulatinamente 2400kg de materia prima. El objetivo de esta operación es eliminar las impurezas que traen adheridas las materias primas, tales como sal, estiércol, tierra, sangre, entre otras y devolver a la piel su estado de hidratación natural. El material se lava durante 50 minutos haciendo girar las paletas. Pasado este tiempo se drenan los tanques hacia el río cercano a la fábrica, y se vuelve a añadir agua hasta la parte superior de la paleta sumergida para comenzar la operación de pelambre.

El objetivo de la operación de pelambre es eliminar la epidermis, si el recorte no ha sido depilado, y preparar las estructuras de las fibras de la piel para las operaciones posteriores. En esta operación a los tanques lavaderos con 2400kg de recorte sumergidos en el agua se le adicionan 50kg de sulfuro de sodio, se agita el material de 2 a 3 minutos para homogenizar la solución, posteriormente se añaden 60kg de hidrato de cal y se rotan las paletas durante 2 horas. Pasado este tiempo se detiene y se deja en reposo durante 1 hora. Luego se pone en marcha el agitador nuevamente durante 10 minutos repitiéndose la operación hasta completar el tiempo de operación para el pelambre que es de 17 horas.

Terminado ese tiempo se revisa el material, y si aún se observan pelos en los recortes, se continúa agitando hasta que se remueven todos los pelos, finalmente se drena la solución. Luego se añade agua, lavándose bien los recortes para eliminar los restos de sulfuros y cal.

A continuación se realiza la hidrólisis química, la cual puede ser llevada a cabo con hidróxido de sodio (NaOH) o con cal hidratada (CaO). En ambos casos los tanques de lavado deben contener la cantidad de agua establecida (hasta el nivel del aforo). El objetivo de esta operación es hinchar las partículas fibrosas del colágeno y lograr las rupturas de las cadenas de aminoácidos que forman el colágeno.

Actualmente se utiliza cal hidratada para efectuar la hidrólisis química, para ello se le añaden 17 ± 1 kg de este reactivo a los tanques con el material previamente lavado. Luego se homogeniza por espacio de 10 a 15 minutos y se deja reposar

Capítulo II

24 ± 2 horas. Posteriormente se agita el material 5 minutos y se observa si se encuentra en el estado adecuado el material, es decir, si no se encuentra en avanzado estado de descomposición. Si el material está en buen estado se mantiene en reposo 24 horas más y se procede a lavar y drenar los tanques lavaderos.

2.1.3 Tratamiento térmico a las moléculas del colágeno.

Terminada la hidrólisis química los recortes del material se trasladan a través de una cinta transportadora, denominada esteras, hasta los tanques de cocción.

En los tanques de cocción se realiza la hidrólisis térmica, estos tanques son: cilíndricos, abiertos en la superficie y poseen en el fondo unos tubos con orificios por donde se suministra el vapor para lograr temperaturas de 75-80 °C, regulada manualmente. El objetivo de esta operación es lograr la ruptura parcial de los enlaces entre las moléculas del colágeno mediante la cocción, obteniéndose una solución diluida en estado coloidal, compuesta por pequeñísimas partículas de sólidos dispersos en fase líquida (estado sol). Esta ruptura se logra a los 60°C.

Para llevar a cabo esta operación se le añaden a los tanques de 700 a 900 litros de agua a temperatura ambiente, y se calienta hasta 80°C utilizando vapor saturado, proveniente del generador de vapor. Una vez caliente, en dichos tanques se añaden además, 2400kg del producto procedente de los tanques lavaderos. La primera cocción se realiza a la temperatura de 75 a 80 °C durante 7 ± 1 horas, con una paleta de madera, de forma manual, se remueve el material durante 2 ó 3 minutos cada 1 hora hasta completar el tiempo previsto. Posteriormente se vacía el caldo en un tanque receptor para ser medido y transferido al pre-evaporador.

Concluida la primera cocción se inspeccionan los tanques, y en dependencia de la cantidad de materia prima que quede, se añadirá de 500 a 700 litros de agua a temperatura ambiente y se calienta hasta 81 y 85 °C para comenzar la segunda cocción, cuyo tiempo de operación oscila sobre 4 horas, al igual que en la primera cocción, se agita la mezcla 2 ó 3 minutos cada 1 hora.

La densidad de los caldos para la primera cocción debe ser de 0-1 °Be y en el caso de la segunda cocción debe ser de 4 °Be aproximadamente.

Capítulo II

2.1.4 Evaporación.

En el pre-evaporador, como su nombre lo indica, se realiza la pre-evaporación de los caldos de la primera y la segunda cocción por separado, en dicha operación se elimina alrededor del 50% del agua total de la solución de colágeno. Este proceso se lleva a cabo a una presión de vacío mínima de 68kPa (20mmHg) y $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

Una vez transcurrido 5 horas de pre-evaporación, el caldo pre-evaporado de la primera cocción pasa a los tachos. De igual manera se procede con los caldos de la segunda cocción. La densidad del caldo al salir del pre-evaporador debe ser mayor que 7°Be .

2.1.5 Tratamiento de concentración. Tachos

Luego de la pre-evaporación se efectúa la concentración de los caldos, para ello el proceso tecnológico consta con 2 tachos.

Estos equipos tienen como objetivo concentrar los caldos alcanzando una concentración de 60% de sólido. Para realizar la concentración se debe mantener un vacío de 68 kPa (20mmHg) como mínimo y 65°C de temperatura durante 1 hora y media con agitación interna.

En los tachos, se mezclan las dos cocciones y se continúa el proceso hasta alcanzar una concentración de los caldos de 55 a 60% de sólidos, se añade bactericida 15 minutos antes de la descarga, la cual se realiza en tanques.

2.1.6 Tratamiento de aireación.

En el departamento de aireación se lleva a cabo el proceso de gelificación, que se realiza con el fin de convertir la solución de cola de estado sol a estado gel, estado coloidal formado por pequeñas partículas de líquido disperso en fase sólida, mediante el enfriamiento de la solución de cola después de ser vertidas en tártaras.

Las tártaras son previamente engrasadas con petróleo, para evitar que la cola se adhiera a ellas, se sitúan en burros entrecruzados una encima de otra, al regar la cola es preciso tratar de que la lámina que se forma sea lo más fina posible. El

Capítulo II

proceso de aireación dura 1 hora ± 30 minutos dependiendo de la temperatura ambiente.

2.1.7 Corte y tendido.

El corte y tendido de la cola se realiza en el departamento de corte. El objetivo de esta operación es cortar las láminas de gel en pedazos que faciliten su tendido y a la vez su secado posterior.

Procedente del área de gelificación llegan las láminas de gel de cola mediante carretillas, se toman un grupo de 2 ó 3 láminas, se cortan en pedazos de 10 ± 2 cm de ancho por 34 ± 2 cm de largo y se perfora en el extremo de cada tablilla en la máquina destinada al efecto, cuidando que los orificios queden céntricos y se coloquen en el mismo sentido. Estas láminas se insertan en varillas de acero hasta completar 25 ± 1 lámina por varilla. Estas láminas deben colocarse de manera que puedan ser separadas uniformemente. El tendido se identificará como un lote de producción por dos descargas de los tachos, conocido como reporte. Las varillas se tienden en burros móviles, al concluir esta operación se colocan en carretillas de vagones y se transportan al túnel de secado.

2.1.8 Secado.

El objetivo de la operación de secado es lograr el secado total de la cola mediante aire caliente. Con las láminas tendidas se someten primero a un proceso de aireación para producir un secado exterior y lograr con esto que el gel se recubra con la llamada capa de piel. Se cierra el túnel y se comienza a dar calor mediante vapor hasta una temperatura máxima de 60 °C con circulación de aire. Esta operación durará de 10 a 12 días.

2.1.9 Molida.

Al cabo de este tiempo las láminas secas pasan a la etapa de molida, cuyo objetivo principal es reducirlas a pequeñas partículas. Para ello se echan las láminas de cola seca por la boca del molino, se comienza a moler hasta que todo el lote esté molido. Para proceder a la molida del otro lote debe siempre

Capítulo II

cerciorarse que no queden residuos de la molido anterior. Cada molido se identificará como un reporte.

2.1.10 Pesado y almacenamiento.

Se vierten desde el molino directamente a los sacos la cola granulada, donde cada 3 sacos se formará un reporte, siendo el objetivo de esta operación el embalaje y tara del producto terminado.

En el local del embalaje se realiza el pesado y almacenamiento de los sacos. El objetivo del pesado es comprobar el peso establecido para cada saco así como su cierre, utilizando básculas de (0-50) Kg de brazo y plataforma, a la que se agregan pesas. Cada saco del lote se cose manualmente debe poseer la etiqueta de identificación del producto terminado, según se establece en la norma NEL1192-07:2004.

Luego los sacos son colocados sobre paletas y se ordenan en el almacén de acuerdo a su fecha de producción, siendo esta la operación de almacenamiento cuyo fin es el almacenaje adecuado del producto terminado. Es de vital importancia destacar que el proceso de producción de cola es un proceso en batch. (Ver anexo 2)

2.2- Evaluación tecnológica de los túneles de secado en las condiciones actuales de trabajo.

Para evaluar los dos secadores con que cuenta la fábrica se realiza una prueba de secado siguiendo la metodología de Treybal, la cual establece que se puede determinar el régimen de secado para una muestra de una sustancia, suspendiéndola de una balanza en presencia de una corriente de aire, dentro de un gabinete o de un conducto. Establece además, que se debe medir en función del tiempo, el peso de la muestra a secar. Dicha metodología exige que para que los datos sean de la máxima utilidad, la muestra no debe ser muy pequeña, y las siguientes condiciones deben ser lo más semejantes posible a aquellas con las que se espera operar a gran escala:

Capítulo II

1. Deberá hallarse la muestra análogamente sostenida en bandeja o marco.
2. Deberá tener la misma relación de superficie seca y no seca.
3. Deberá estar sometida a condiciones análogas de transferencia de calor radiante.
4. El aire deberá tener la misma temperatura, humedad y velocidad (en valor y en dirección) con respecto a la muestra.

A fin de cumplir con todas estas exigencias, las muestras son tomadas de un lote de producción real de la fábrica, cortadas de la manera en que habitualmente allí lo hacen, por lo que poseen las mismas dimensiones que las tablillas de la producción a gran escala. Además, las muestras se ensartan en los ganchos en que comúnmente cuelgan las láminas de cola húmeda, colocadas en los estantes de los secaderos del mismo modo que lo realizan los operarios encargados de esta etapa de la producción, e introducidos en los secaderos a evaluar.

Estos secaderos son túneles fabricados en Cuba en el año 1970, contruidos de hormigón armado con las siguientes dimensiones:

- Largo: 14. 8 m
- Ancho: 2. 5 m
- Altura: 2. 7 m

Dichos túneles poseen en el extremo derecho un intercambiador de calor en el techo, mientras que en la puerta del otro extremo se encuentra un extractor. El objetivo de colocar un intercambiador de calor en los secadores, es el de elevar la temperatura del aire atmosférico que absorberá la humedad de las tabletas de cola. De esta manera aumenta la diferencia de temperatura entre el aire y el sólido húmedo, lo que permite que la fase gaseosa pueda absorber mayor cantidad de humedad. El extractor es el encargado de garantizar la circulación del aire y su posterior expulsión una vez que haya absorbido toda la humedad posible. El intercambiador de calor posee 9 tubos cilíndricos con superficie extendida por cuyo interior circula vapor saturado proveniente del generador de vapor. Al pasar el aire atmosférico a través de dichos tubos intercambia calor con el fluido que se mueve por su interior, aumentando así la temperatura del aire por medio del mecanismo de convección libre.

Capítulo II

Para la obtención de datos que ilustren cómo ocurre el proceso de secado en toda la extensión de los secadores y que estos sean lo más verosímil posible, se colocan en los equipos a evaluar 3 puntos en donde se realiza la prueba de secado con 5 réplicas cada uno.

El primer punto se encuentra ubicado en el extremo izquierdo del secador, justo delante del extractor, el punto #3 en el extremo derecho delante de la trampa de vapor, y el segundo se localiza entre los dos puntos anteriores, equidistante de ellos. La representación de las ubicaciones de los puntos se muestra en la siguiente figura:

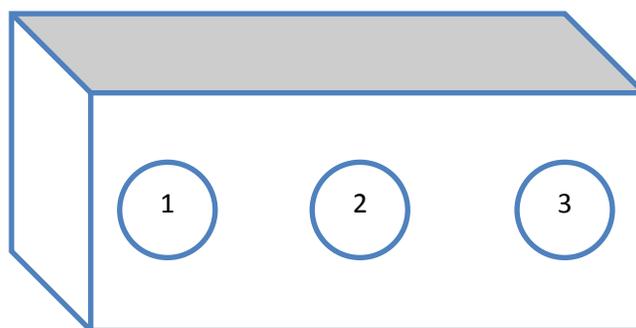


Figura 3: Posición de las muestras en los secadores.

Como parte de la evaluación de los secadores se compara el proceso de secado en los dos túneles, y estos a su vez con las condiciones ambientales. Para la comparación de los secaderos entre sí, las muestras son colocadas en los mismos sitios en ambos equipos, específicamente en el lado izquierdo. Para comparar la operación de secado bajo las condiciones de los secaderos y las condiciones ambientales, y de este modo conocer si realmente los túneles cumplen con su función en el proceso tecnológico, se ubican 2 puntos en laboratorio también con 5 réplicas en cada uno.

El punto 1 del laboratorio se encuentra en un cubículo cerrado donde la fuente que proporciona la energía necesaria para evaporar la humedad lo constituye el aire acondicionado del local. Mientras que el punto 2 reside en la propia área del laboratorio, donde el aire ambiente circula a través de la puerta y las ventanas,

Capítulo II

siendo este la fase gaseosa hacia donde la humedad se transferirá desde el seno de las tablillas de cola.

Siendo así, la prueba de secado que se realiza a la fábrica Juan Ripoll cuenta con 8 puntos de observación y 40 láminas de cola como muestras, las cuales fueron sometidas durante un periodo de 30 días a un proceso de pesado, utilizando una balanza técnica debidamente bien calibrada para tales efectos.

El objetivo de realizar un proceso de pesado, es registrar la variación del peso de las láminas de cola; lo cual permite obtener la humedad evaporada, cálculo que se realiza por medio de la diferencia entre dos mediciones. Con los datos obtenidos se efectúa un estudio estadístico a través de las medidas para datos simples como son promedio, desviación estándar y coeficiente de variación; y posteriormente analizar cómo influyen en la disminución de la humedad de las muestras las condiciones climatológicas y de operación tecnológicas de la fábrica, la posición en la que se encuentra los puntos de prueba y la estabilidad de la inyección de vapor, la cual depende de la constancia con que trabaje el generador de vapor.

El proceso de pesado finaliza una vez que se observe, en mediciones consecutivas, poca variación del peso de las láminas de cola, entonces se ha obtenido la masa de sólido seco (L_s). Con el valor de L_s y la cantidad de humedad evaporada, se determina el contenido de humedad del sólido (X), lo cual no es más que la relación entre las libras de humedad y las libras de sólido seco.

Contar con el valor del contenido de humedad ofrece la posibilidad de conocer de forma directa el comportamiento del proceso de secado en la fábrica, es decir, cómo varia la evaporación de la humedad de las láminas con respecto al tiempo (θ), por medio de un gráfico de X contra θ (X vs θ). De esta manera se determina el tiempo de secado por método gráfico.

Capítulo II

El gráfico de X vs θ debe semejarse al que se muestra a continuación:

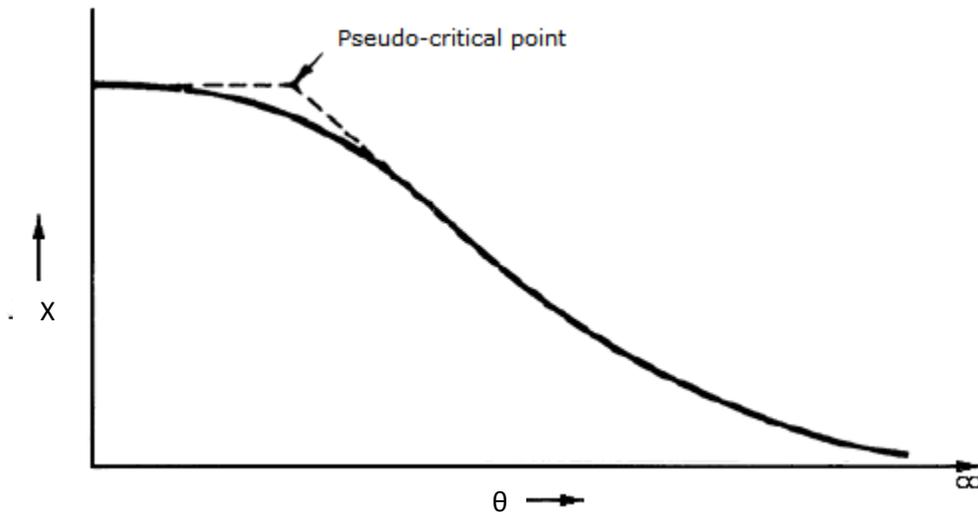


Figura 4: Curva típica de humedad.

Además del tiempo de secado, el régimen en que ocurre dicho proceso es de vital importancia en la evaluación de los secadores. La interpretación matemática del régimen de secado es que este es la pendiente de cada uno de los puntos de la curva X vs θ . También se determina a partir de la variación del contenido de humedad, del intervalo de tiempo en que esto ocurre, de las libras de sólido seco y de la superficie húmeda sobre la cual sopla el gas, según lo demuestra la expresión siguiente:

$$N = \frac{-L_s \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta \theta} \quad (\text{ec. 2.1})$$

Donde:

- ΔX : Contenido de humedad, kg de humedad/ kg de sólido seco.
- $\Delta \theta$: Intervalo de tiempo, horas (h).
- L_s : Masa de sólido seco, kg.
- A : Superficie húmeda sobre la cual sopla el gas, m^2 .

Capítulo II

Los términos de ΔX y $\Delta\theta$ se hallan mediante la prueba de secado, y el área de la superficie húmeda a partir de la expresión de geometría espacial, conociendo que las láminas de cola son de forma de prisma recto:

$$A = 2(ab + ac + cb) \quad (\text{ec 2.2})$$

Donde a, b y c son el largo, ancho y espesor de las talillas de cola respectivamente.

Estas dimensiones son 10 ± 2 cm de ancho, 30 ± 2 cm de largo y 0.5 ± 0.2 cm de espesor según lo establece la norma empresarial para la producción de cola animal granulada para la etapa de corte y tendido.

Finalmente se grafica el régimen de secado en función del contenido humedad (N vs X) con el objetivo de obtener la curva del régimen de secado de este proceso en la fábrica. Dicha curva, de manera general, tiene la siguiente forma:

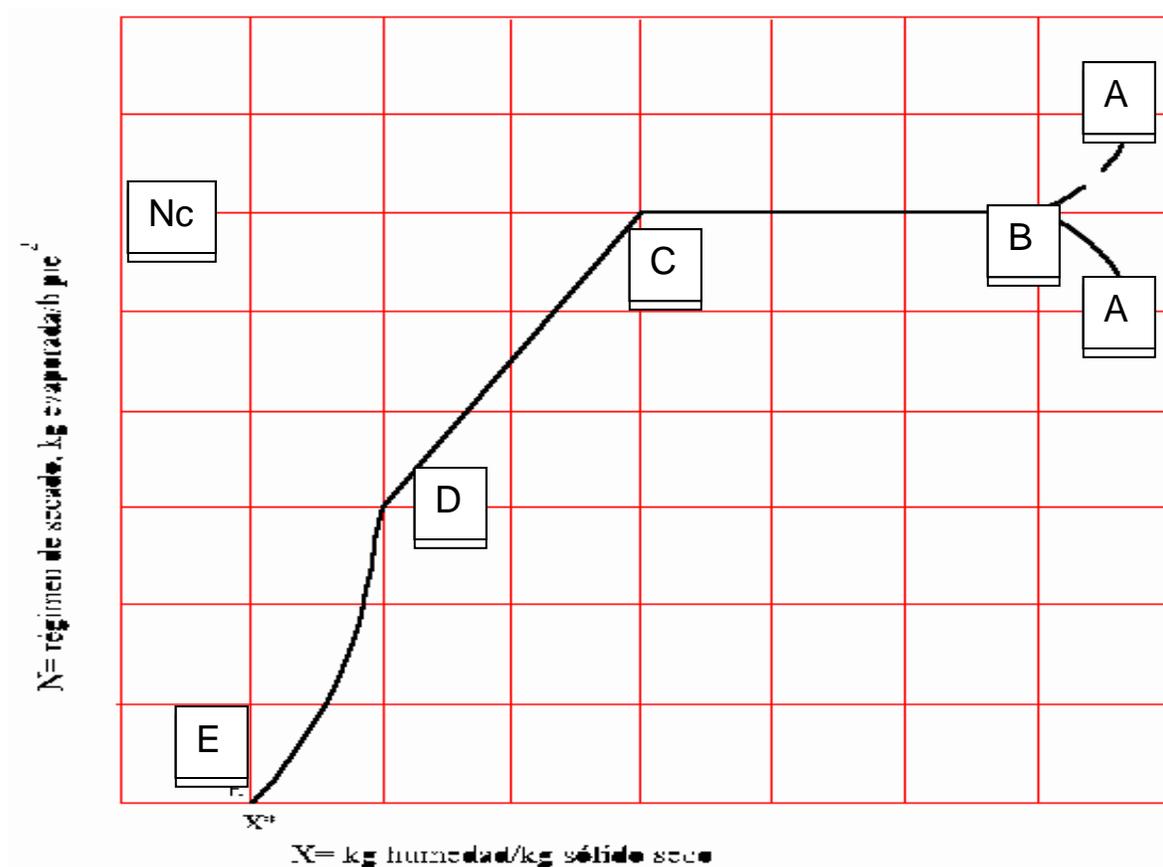


Figura 5: Curva típica de régimen de secado.

Capítulo II

En esta gráfica se contemplan 2 períodos distintos. El primer período (B-C) ocurre cuando la superficie del material está saturada y el régimen de secado es constante. El segundo período (C-F) aparece cuando la difusión interna es significativa y el régimen de secado disminuye (régimen decreciente). Cuando la temperatura de equilibrio en la superficie del líquido es mucho menor que su valor inicial, se origina la curva (A-B). Generalmente el período inicial es tan corto que es muy común que en el análisis del tiempo de secado se desprecie.

Dependiendo del tipo de curva que haya descrito el proceso de secado de los puntos ubicados en los secadores y el laboratorio se determina el tiempo de secado, ya que para cada período de régimen de secado se ajusta una expresión de tiempo de secado. No obstante este se determina haciendo uso de la ecuación general del tiempo de secado, la cual se muestra a continuación:

$$\theta = \frac{Ls}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{N} \quad (\text{ec 2.3})$$

Para hallar el valor de la integral es necesario determinar el inverso del régimen de secado ($\frac{1}{N}$) en cada uno de los días en los que se realiza la prueba de secado debido a que en este caso el régimen de secado no tiene un valor único. El procedimiento para ello es el siguiente:

- 1) Tabular X y $\frac{1}{N}$.
- 2) Graficar $\frac{1}{N}$ contra X .
- 3) Obtener la ecuación matemática que describe el comportamiento del inverso del régimen de secado con la humedad, logrando un mayor ajuste y por tanto un mayor valor del Coeficiente de correlación.
- 4) Evaluar el modelo matemático con paso constante en el rango de humedad desde X_1 y X_2 .
- 5) Calcular el área bajo la curva por medio del método numérico de los trapecios. Este método plantea que:

$$\int = h \left[\left(\frac{y_0 + y_n}{2} \right) \cdot \sum_{y_1}^{y_{n-1}} y_i \right] \quad (\text{ec 2.4})$$

Donde:

- h: Es el paso, es decir, el intervalo que debe existir entre cada valor de la abscisa.
- y_0 : Valor inicial de la ordenada.
- y_n : Valor final de la ordenada.
- y_i : Valores de la ordenada que se encuentran entre y_0 y y_n .

Con esta evaluación realizada a los túneles de secado de la fábrica se pudo conocer el estado técnico en que se encuentra estos equipos, el régimen de secado con que se opera en la fábrica, y cómo influyen en él las condiciones climatológicas y el sistema de trabajo en esta etapa del proceso productivo.

2.3- Análisis técnico de las alternativas propuestas.

Una vez efectuada la evaluación a los túneles de secado, se procede a valorar la propuesta de alternativas que mejoren la eficiencia del proceso de secado, a fin de que se cumplan con las especificaciones de calidad referentes al contenido de humedad, en el tiempo establecido.

Estas alternativas son:

- Evaluar la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.
- Evaluar la propuesta distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.
- Evaluar la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

2.3.1- Evaluar la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.

Los extractores con los que están provistos los túneles de secado de la fábrica datan del año 1971 y están dotados de una correa, dos pedestales, dos poleas,

Capítulo II

una grande de 12 in de diámetro y otra pequeña de 0.5 in de diámetro, una estrella con cuatro poleas y un eje de 1 in de diámetro.

Los datos técnicos del motor son los siguientes:

- Potencia: 1 kW
- Velocidad angular: 1 690 rpm

Debido a que los extractores poseen alrededor de 42 años de explotación, entonces es posible que una de las causas del retraso en el tiempo de operación de la etapa de secado sea que los extractores no estén proporcionando el flujo de aire necesario para que la transferencia de humedad desde el seno de las láminas de cola a la fase gaseosa ocurra satisfactoriamente.

La metodología para evaluar los extractores con que cuenta la fábrica es la siguiente:

- 1) Calcular el flujo de aire que realmente extrae el equipo (Fr) haciendo uso de la siguiente ecuación física:

$$Fr = V \cdot A \quad (\text{ec 2.5})$$

Donde:

- Fr es el flujo de aire real expresado en m^3/s .
- V es la velocidad del aire, en m/s .
- A es el área de los secadores, en m^2 .

La velocidad del aire se determina a través de mediciones experimentales realizadas durante los 11 días en el período de mañana y tarde en los que se evalúa esta propuesta. Estas lecturas se toman en dos turnos, uno en la mañana, alrededor de las 10:00 am y el otro en la tarde, entre las 13 y 14 horas del día. Las mediciones de velocidad se realizan mediante un instrumento denominado anemómetro, el cual mide esta variable en el sistema internacional (m/s). Este equipo está provisto de un ventilador, eje, pantalla digital, batería e interruptor. El viento, al soplar, empuja las aspas del ventilador y estas hacen girar el eje. El número de vueltas por minuto se traduce en la velocidad del viento con un sistema de engranajes similar al del indicador de velocidad de los vehículos de motor. Para

Capítulo II

ello el equipo se coloca delante del extractor y se presiona el botón de encendido. Una vez que el anemómetro haya detectado la velocidad con que el aire circula, marcará un valor de velocidad.

El área de los secadores se halla mediante la ecuación siguiente, la cual describe la superficie de un ortoedro:

$$A = 2(ab + bc + ac) \quad (\text{ec 2.6})$$

Donde a, b y c son las dimensiones del secadero, largo, ancho y altura respectivamente.

Para comparar dos términos cuales quiera es preciso que estén expresados dimensionalmente iguales. Cumpliendo con esto, el flujo real de aire (Fr) debe estar en unidades másicas en vez de volumétricas. Es por ello, que el flujo volumétrico del aire se afectará por su densidad, comprendiendo la operación matemática de multiplicación, obteniéndose así, el flujo Fr expresado en unidades másicas (lb/h).

2) Determinar el flujo teórico (G_s) es necesario que debe extraer el extractor.

Para ello se tendrá en cuenta las condiciones actuales del equipo.

Para el cálculo del flujo teórico de aire que expulsa el extractor se hace uso del balance de masa en el proceso de secado. Dicho balance se muestra a continuación:

$$L_s(X_1 - X_2) = G_s(Y_1 - Y_2) \quad (\text{ec 2.7})$$

Donde:

- L_s : Masa de sólido seco, kg sólido seco.
- X_1 y X_2 : Contenido de humedad del sólido al entrar y salir del secador respectivamente, kg humedad/ kg sólido seco.
- G_s : Flujo de gas seco, kg gas seco/ h.
- Y_1 y Y_2 : Humedad del gas a la salida y la entrada del secador respectivamente, kg humedad/ kg gas seco.

Los valores del contenido de humedad del sólido, así como el régimen de flujo del sólido, ya están obtenidos, pues forman parte de la evaluación de los secadores,

Capítulo II

ya que en él están implícito la humedad que contienen las tablillas de cola al entrar y salir de los túneles de secado.

La humedad del gas que entra se tomó de un estudio estadístico de temperatura y humedad relativa de la ciudad de Matanzas en un período de 10 años (Anexo 11 y 12). Mientras que el contenido de humedad del aire que sale de los secadores se obtiene a partir de mediciones indirectas de esta variable en los equipos a evaluar. Para se situarán dos puntos en el secador, uno en el extremo en el cual se encuentra el extractor (punto 1) y otro bajo l entrada del aire caliente (punto 2). El objetivo de medir la temperatura en estos dos lugares dentro del secador es, además de adquirir valores de temperaturas que posibiliten obtener la humedad del gas a la salida del secador, poder contar con una data de valores de temperaturas de la fase gaseosa en el punto donde se encuentra más caliente (punto 2) y donde posee menor temperatura (punto 1). Esto último se hace con la finalidad de conocer cómo fluctúa este gradiente cuando el generador de vapor está y cuando no lo está.

Las mediciones de humedad se realizan con un psicrómetro. Este equipo posee dos termómetros ordinarios, pero el bulbo de uno de ellos se humedece con una toalla de algodón, donde se evapora el agua constantemente. De esta manera, el psicrómetro reporta una temperatura de bulbo húmedo (Tbh) y otra de bulbo seco (Tbs). Mediante una carta psicrométrica se obtiene la lb humedad/lb gas seco, haciendo interceptar Tbs y Tbh registrados por el psicrómetro.

El valor de la masa de sólido seco se obtiene a partir del registro del peso de los reportes al entrar y salir de los secadores.

- 3) Comparar los valores del flujo de aire teórico y real a fin de evaluar el extractor.

Si los valores de del flujo de aire teórico y real coinciden, o al menos difieren insignificadamente, en el orden de 10^{-3} , entonces el estado técnico en que se encuentran los extractores no figura entre las causas del retraso en el tiempo de secado. Mas, si existiera una diferencia notable entre ellos, se analizará con el objetivo de tomar la decisión correcta.

Capítulo II

De ser el flujo real de aire menor que el teórico ($Fr < Gs$), entonces, efectivamente, se propondrá la instalación de un nuevo extractor que garantice que el gasto real que entregue la máquina sea igual a Gs .

Sin embargo, si los cálculos para hallar Fr y Gs arrojan un resultado contrario al anterior ($Fr > Gs$), significa que el extractor mueve más aire del que se necesita, por lo que el estado técnico de este equipo no representa una causa del retraso del tiempo de secado.

2.3.2-Evaluación técnica de la propuesta distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

La sobrecarga de los secadores es una de las posibles causas del retraso del tiempo de secado en la fábrica. Para conocer cuán de cierto es, se calcula la masa de sólido seco teniendo en cuenta las condiciones actuales de los túneles, y fijando el tiempo de secado según lo establece la norma, 12 días. La metodología para ello es la siguiente:

- 1) Con los datos obtenidos de la evaluación de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo, se determina la masa de sólido seco y el contenido inicial de humedad del sólido, calcular el régimen de secado por la ec. 2.1. En este caso el tiempo de secado tiene un valor de 12 días
- 2) despejar Ls de la ecuación del tiempo de secado (θ), (ec. 2.3), fijando $\theta = 12$ días.

Debido a que los valores de masa de sólido seco con que se cuentan corresponden a un solo secador se deberá determinar el valor de Ls para los dos túneles con que dispone la fábrica, utilizándose la expresión matemática siguiente:

$$Ls_{total} = Ls \cdot 2 \quad (ec. 2.8)$$

Luego se compara la cantidad de sólido determinado a través de la ecuación 2.8 ($Ls_{teórica}$) con respecto a la cantidad real (Ls) existe en secador.

1. De ser $Ls_{teórica}$ mayor Ls se descarta esta propuesta, pues los secadores contienen la cantidad de sólido necesaria para que el tiempo de secado sea el establecido.

2. Si la masa de sólido teórica es menor que la cantidad de sólido con que comúnmente llenan los secadores, se procede entonces a calcular la cantidad de sólido que la planta será capaz de obtener en un mes de producción.

2.3.3-Evaluación técnica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

La propuesta de esta alternativa surge a partir de la idea de que independientemente de que el aire con el cual ocurre la transferencia de masa se caliente antes de entrar en los secaderos, y de que las condiciones tecnológicas de estos actualmente no sea la más adecuada para realizar la operación de secado, evidentemente es también necesario cambiar otra de las condiciones de entrada del aire.

El parámetro escogido es la humedad ya que junto con la temperatura son las variables responsables de la ocurrencia de este proceso, pues mientras mayor sean sus gradientes, mayor será la magnitud de la masa transferida.

A través de la operación de absorción gaseosa se logra disminuir el contenido de humedad al aire. La absorción de gases es una operación en la cual una mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas y de obtener una solución de éstos en el líquido. Esta operación requiere la transferencia de masa de una sustancia en la corriente gaseosa al líquido.

En este caso la fase gaseosa es el aire atmosférico y la fase líquida la constituirá el ácido sulfúrico (H_2SO_4), sustancia altamente higroscópico y por tanto la más apropiada para extraer la humedad del aire. El tipo de columna a utilizar es una torre de absorción rellena cuyos empaque serán anillos Rashing cerámicos de $\frac{1}{4}$ in ya que el ácido sulfúrico es una sustancia altamente corrosiva, especialmente cuando se encuentra diluido, estado en que se encontrará a salir de la columna.

A través del programa de simulación HYSYS Process versión 2.2 se evalúa la columna de absorción. Este programa exige de datos para comenzar la simulación

Capítulo II

los valores de los flujos de entrada de la corriente líquida y gaseosa, así como la concentración en ellas del componente de interés en el fondo y el tope de la torre.

La determinación de dichos datos es la siguiente:

1) Determinar de la temperatura y la presión de trabajo.

La operación se lleva a cabo a temperatura ambiente, $T= 30^{\circ}\text{C}$, y presión atmosférica, $P=1\text{atm}$.

2) Determinar del flujo gaseoso de entrada y la composición del agua en él.

El flujo de aire que entra a la torre (G_1) es el flujo real que impulsa el extractor el cual fue determinado cuando se evalúa el extractor. La fracción del contenido de agua en el gas (y_1), que es el compuesto que se transfiere, se calcula a partir de la humedad del aire ambiente utilizada en el epígrafe 2.3.1 como Y_1 , la cual no es más que la relación entre el agua y los demás componentes de aire.

La conversión de relación a fracción es la siguiente:

$$y = \frac{Y}{1 + Y} \quad (\text{ec. 2.9})$$

3. Calcular y_2 .

y_2 es la fracción de agua en el gas a la salida de la torre. Este es valor con que se desea que entre el aire a los secadores.

La determinación del valor de y_2 se realiza por medio de la ecuación del balance de masa en la operación de secado (ec. 2.7). En este caso todas las variables continúan con el mismo valor que en el epígrafe 2.3.1 a excepción de G_s y de la humedad del sólido a la entrada del secador (X_1). G_s toma el valor del flujo de aire teórico que se necesita para que el tiempo de secado sea de 12 días y X_1 se halla a partir del contenido de agua de la cola al salir de los tachos. Este parámetro será tomado de la norma NEL 1192-06:2004 ya que es el que garantiza $\theta=12$ días.

La norma establece que la concentración de los caldos a la salida de estos equipos es de 55 a 60% de sólidos, por lo que alrededor del 40% restante

Capítulo II

corresponde a la concentración de agua en los caldos, fracción de humedad (x_1). Luego, Este valor de x_1 es llevado a relación mediante la ecuación:

$$X = \frac{x}{1-x} \quad (\text{ec. 2.10})$$

La relación másica Y_2 obtenida en el balance de masa se convertirá en la fracción y_2 a partir de la ecuación 2.9.

4. Determinar la fracción del componente de interés en la corriente líquida de entrada.

El ácido sulfúrico será suministrado por la planta de ácido de la empresa Rayonitro, ubicada en Matanzas. El H_2SO_4 que esta industria expende posee una concentración másica de 98%, por lo que el 2% restante está compuesto por agua ($x_2=0.02$).

5. Calcular el flujo de líquido de operación.

Se determina mediante la operación lógica Adjust que contiene el simulador HYSYS fijando la fracción de agua en el gas a la salida de la torre (y_2) que se desea.

La metodología para implementar en HYSYS Process versión 2.2 el diseño de la columna de absorción se ofrece en el anexo 13.

En este caso el paquete termodinámico escogido es NTRL debido a que la mayoría de las sustancias involucradas en la operación son sustancias polares (agua y ácido sulfúrico) y son no electrolitos a excepción del agua.

Sin embargo los resultados obtenidos no representan un modelo adecuado debido a que la simulación se ejecutó con platos y no con empaques, por lo que es necesario reemplazar los platos por empaques. La metodología para cambiar los platos por empaques aparece en el anexo 14.

2.4- Análisis económico de las alternativas propuestas.

En el presente epígrafe se analizarán las alternativas propuestas desde el punto de vista económico ya que solamente no basta con que sean factibles técnicamente, sino que también, lo deben ser desde una óptica económica, en mayor o menor medida. Debido a ello debe existir un consenso entre lo que es viable técnicamente y económicamente lógico.

2.4.1- Evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.

La evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones de trabajo se realiza por medio del software CAPCOST. Este programa estimación de la inversión requiere para su utilización de ciertas especificaciones, como son el tipo de ventilador a emplear, caudal (m^3/s), cantidad de aspas, material de construcción, entre otras.

Una vez obtenida el valor de la inversión, se debe actualizar, pues la estimación realizada por CAPCOST está programada para el año 1996. Para actualizar el costo de adquisición del equipo se utiliza el índice de costo para el año en que se diseña. El índice de costo para el año 2012 es 584.6.

La expresión matemática sería:

$$Costo_{actual\ extractor} = Costo_{Extractor\ 1996} \cdot IC_{2012} \quad (ec. 2.11)$$

Toda inversión que se realice, por pequeña que sea, se le debe determinar el valor de los indicadores de la eficiencia de la inversión, con el fin de conocer si esta se debe aceptar o no. Estos indicadores son valor actual neto (VAN), tasa interna de rentabilidad (TIR), por ciento de retorno (% Ret) y plazo de recuperación de la inversión (PRI).

De los indicadores presentados anteriormente solo es necesario el por ciento de retorno (%Ret) y el plazo de recuperación de la inversión (PRI). La expresión matemática de ambos indicadores es la siguiente:

Capítulo II

$$\% Ret = \frac{G + A}{I} \cdot 100\% \quad (\text{ec. 2.12})$$

$$PRI = \frac{I}{G + A} \quad (\text{ec. 2.13})$$

$$A = \frac{I}{td} \quad (\text{ec. 2.14})$$

$$G = VP - CP \quad (\text{ec. 2.15})$$

$$VP = Pup \cdot N \quad (\text{ec. 2.16})$$

$$CP = Cup \cdot N \quad (\text{ec. 2.17})$$

Donde:

- %Ret: Se expresa en %/año.
- A: Depreciación o amortización, \$/año.
- G: Ganancia, \$/ año.
- I: Valor de la inversión, \$.
- td: Tiempo de vida útil, año.
- PRI: Se expresa en años.
- VP: Se expresa en \$.
- Pup: Precio unitario del producto, \$/t.
- CP: Se expresa en \$.
- Cup: Costo unitario del producto, \$/t.
- N: Volumen de la producción, t.

El retorno de la inversión es el ritmo anual con que retorna la inversión a través de la ganancia.

La depreciación es aquella parte del valor de la producción que se destina a reponer el valor perdido por el equipo.

Según Peters, (1991) el valor del tiempo de vida útil para equipos eléctricos es 10 años.

El plazo de recuperación de la inversión es el tiempo que tarda el inversionista en recobrar el capital invertido.

Capítulo II

La fábrica expende la cola ya molida tanto en moneda nacional (MN) como peso cubano convertible (CUC). Estos valores se muestran en la tabla 2.1. El costo unitario del producto también se expresa en estas monedas. En la tabla 2.2 aparecen los valores de Cup.

Tabla 2.1: Valores del precio unitario del producto.

Pup, en MN	3 866.31 \$/t
Pup, en CUC	2 443.34 \$/t

Tabla 2.2: Valores del costo unitario del producto.

Cup, en MN	3 932.85 \$/t
Cup, en CUC	2 036.12 \$/t

El volumen de la producción (N) es la cantidad de sólido que alcanza el contenido de humedad de 0.15 lb de humedad/lb de sólido seco, en los 12 días establecidos con el flujo teórico (Gs) determinado en el epígrafe 2.3.1. Como N se expresa en t/año se determina entonces cuánto sólido se obtienen dicho tiempo.

Además de conocer si la inversión es eficiente también es necesario determinar es eficiente la producción a partir de esta propuesta. Para ello se utilizan los indicadores de la eficiencia de la producción: valor de la producción (VP), costo de la producción (CP), ganancia (G), rentabilidad (R) y costo por peso (CP/P). La ganancia es el principal indicador de la eficiencia de la producción, mas con este valor solo no basta para poder afirmar que la producción es eficiente. Otro de los indicadores que lo certifican es la rentabilidad, pues da una medida de la ganancia de los fondos de la producción.

Los indicadores valor de la producción, costo de la producción y ganancia fueron definidos en el acápite anterior, correspondiendo a las ecuaciones 2.16, 2.17 y 2.15 respectivamente. La rentabilidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$Rn = \frac{G}{CP} \cdot 100\% \quad (\text{ec. 2.18})$$

Donde:

- Rn: Se expresa en %/año.

2.4.2- Evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

Las condiciones tecnológicas en las que actualmente se encuentran los secadores de la fábrica, solamente admiten una cierta cantidad de sólido para que esta pueda cumplir con el tiempo de secado establecido. Lógicamente, dicha cantidad de sólido es menor a la que comúnmente depositan en los túneles de secado. Por esta razón es necesario conocer si es económicamente factible equilibrar la carga de los secadores.

El análisis económico de cualquier industria se realiza en función de la eficiencia de la planta y de los indicadores de la eficiencia de la producción. El análisis de la eficiencia de la planta es típico de las industrias a instalar, ingenierilmente conocidas como una nueva capacidad a instalar (NCI), en las que se debe determinar la eficiencia de la inversión. Los indicadores de la eficiencia de la producción dan una medida de cuan rentable y lucrativa es la producción.

La puesta en práctica de esta alternativa no necesita de la instalación de una nueva planta adjunta a la ya existente, por lo que no se utilizarán los indicadores de la eficiencia de la inversión. Los indicadores de la eficiencia de la producción a utilizar en la evaluación económica de la propuesta son los referidos en el epígrafe anterior.

Para esta propuesta el volumen de la producción (N) es la masa de sólido, expresadas en toneladas, obtenida en un año a partir del resultado de Ls_{total} del epígrafe 2.3.2.

2.4.3- Evaluación económica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

La evaluación económica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa se realiza por medio de la

Capítulo II

estimación de la inversión, para lo cual se utiliza el software CAPCOST. Este programa requiere para su utilización de ciertas especificaciones, como son el tipo de columna, el material de construcción de la coraza de la columna, de empaque, las dimensiones de la torre (diámetro y altura), número de empaque, altura del empaque, presión de operación máxima, entre otros.

Una vez obtenida el valor de la inversión, se debe actualizar, pues la estimación realizada por CAPCOST está programada para el año 1996. Para actualizar el costo de adquisición de la torre se utiliza el índice de costo para el año en que se diseña, en este caso, 2012. El índice de costo para este año es 584.6.

La expresión matemática sería:

$$Costo_{actual\ torre} = Costo_{torre\ 1996} \cdot IC_{2012} \quad (\text{ec. 2.19})$$

A esta propuesta también le es necesario determinar los indicadores de la inversión por ciento de retorno (%Ret) y el plazo de recuperación de la inversión (PRI) para conocer si es factible o no la instalación de un nuevo extractor.

El por ciento de retorno y el plazo de recuperación de la inversión se calculan a través de la ecuación 2.12 y 2.13 respectivamente.

El valor del tiempo de vida útil para equipos químicos y productos aleados según Peters, (1991) se estima en 11 años.

Para determinar el valor de la ganancia que se obtendrá con la implantación de esta alternativa se calcula el valor de la producción y su costo para el volumen de producción que se obtendrá en un año, teniendo presente que con esta propuesta el tiempo de secado disminuye hasta el valor normado (12 días). El costo de producción, por su parte, se verá aumentado debido a que al costo unitario del producto se le añade el costo del solvente. El ácido sulfúrico es suministrado por la empresa Rayonitro de Matanzas, la cual le imprime un precio de venta de 4.3683 MN/t o 219.6925 CUC/t.

Capítulo III

Capítulo III: Análisis de los resultados

3.1- Análisis de la evaluación tecnológica de los túneles de secado en las condiciones actuales de trabajo.

Con el objetivo de evaluar los secadores de la planta, se realizan pruebas de secado a las tabletas de cola dentro de los secadores y a una muestra patrón en el laboratorio, con el propósito de determinar el tiempo de secado real de la industria. A continuación se muestran tres tablas con los resultados obtenidos en las pruebas de secado.

Tabla 3.1: Prueba de secado del secador 1.

Día	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
1	0.267	0.0061	2.276	0.268	0.0103	3.864	0.276	0.0068	2.472
3	0.149	0.0082	5.482	0.184	0.0129	7.023	0.157	0.0075	4.802
6	0.105	0.0047	4.498	0.115	0.0064	5.544	0.104	0.0068	6.564
10	0.067	0.0034	5.039	0.074	0.0059	7.990	0.070	0.0043	6.128
13	0.065	0.0042	6.521	0.068	0.0032	4.740	0.069	0.0042	6.096
15	0.052	0.0028	5.384	0.053	0.0008	1.543	0.054	0.0063	11.677
20	0.020	0.0021	10.87	0.020	0.0014	6.76	0.020	0.0010	5.3
24	0.09	0.003	3.10	0.013	0.0009	6.83	0.004	0.0002	5.3
27	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000

Tabla 3.2: Prueba de secado del secador 2.

Día	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	X Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
1	0.257	0.0064	2.484	0.275	0.0457	16.603	0.259	0.0104	4.019
3	0.107	0.0031	2.938	0.122	0.0056	4.577	0.139	0.0137	9.840
6	0.070	0.0036	5.073	0.077	0.0025	3.218	0.090	0.0109	12.023
10	0.082	0.0036	4.401	0.065	0.0017	2.646	0.068	0.0090	13.291
13	0.095	0.0046	4.857	0.075	0.0005	0.644	0.076	0.0096	12.628
15	0.069	0.0021	3.038	0.053	0.0012	2.200	0.058	0.0092	15.807
20	0.014	0.0005	3.39	0.013	0.0011	9.023	-	-	-
24	0.000	0.000	0.000	0.004	0.0002	5.812	-	-	-
27	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000

Capítulo III

Tabla 3.3: Prueba de secado del laboratorio.

Día	Punto 1			Punto 2		
	X Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)	X Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
1	0.235	0.0058	2.480	0.232	0.0066	2.845
3	0.104	0.0065	6.273	0.109	0.0109	10.010
6	0.047	0.0044	9.285	0.053	0.0082	15.451
10	0.044	0.0023	5.138	0.059	0.0014	2.416
13	0.056	0.0037	6.574	0.064	0.0010	1.640
15	0.042	0.0039	9.262	0.050	0.0024	4.804
20	0.022	0.0003	1.547	0.023	0.0021	9.033
24	0.008	0.0001	1.547	0.011	0.0017	15.385
27	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000

Durante los primeros 5 días en los que se desarrolla la prueba de secado el generador de vapor estuvo apagado por lo que no se calienta el aire atmosférico lo cual no favorece que sea mayor el gradiente de temperatura y por tanto sea más lenta la transferencia de masa.

En estos días se pudo observar que a pesar de que en el secador 2 estaba vacío y solo contenía las muestras, es decir, que el aire incidía sobre ellas por lo que la cantidad de humedad a evaporar en ellas debe ser mayor en comparación con el secador 1, donde las muestras ubicadas en el punto 1 poseen láminas de cola a ambos lados, las del punto 2 las tablillas de muestras están en contacto con el resto de la producción por el lado izquierdo y las de la posición 3 sí están solas; se eliminó igual cantidad de humedad en ambos secadores (ver anexos del 3 al 8).

Durante el sexto y el décimo día ocurrió un cambio en las condiciones climatológicas, aumentando la humedad debido al largo período de lluvia existente. Para minimizar la cantidad de humedad que las tabletas de cola pudieron absorber se inyectó vapor en ambos secadores durante 3 horas.

Como se puede observar, la humedad eliminada en esta jornada ha sido pequeña, lo que se produjo debido a la humedad atmosférica existente durante esos días que retardó el proceso de secado.

El aumento del peso en el punto 1 del segundo secador sucedió porque, además de lo descrito anteriormente, fueron colocadas más tabletas de cola a su

Capítulo III

alrededor, por lo que estuvieron expuestas no solo al aumento de la humedad ambiente sino también a la de las nuevas tablillas.

Entre el 22 y 25 de junio (10mo y 13er día) estuvo lloviendo y el ambiente se mantuvo húmedo, además, durante estos días no se inyectó vapor a los secadores, por lo que solo estaba funcionando el ventilador; razón por la cual en la mayoría de los puntos ocurrió un aumento de peso producido por la humedad ambiente absorbida, incluyendo los del laboratorio.

A partir del 2 de julio y hasta el día 6 (20mo y 24to día) ambos secadores fueron llenados completamente por lo que se observa una desigual pérdida de humedad en las muestras de los secadores.

Al observar la tabla 3.1 se puede comprobar que no existe diferencia significativa en cuanto a la humedad en cada punto del secador 1, lo cual demuestra que la causa de que la producción se demore en secarse no solo es la inestabilidad de calor proporcionada por el generador de vapor, pues las muestras del punto 3 del segundo secador, sino también el estado técnico en que se encuentra el extractor, pues al parecer no está proporcionando el flujo de aire necesario para favorecer la transferencia de masa.

Al comparar las muestras ubicadas en cada punto del segundo secador se evidencia que también ocurre lo mencionado anteriormente. Ello quiere decir que las condiciones existentes en los dos secadores no son la más idóneas para satisfacer la transferencia de masa, provocando así que el tiempo de secado sea mayor que el establecido.

Con los datos obtenidos de los días 20 y 24 en el punto 3 del secador 2 no fue posible realizar el estudio estadístico ya que los valores obtenidos están totalmente fuera de rango unos con otros.

Haciendo una comparación entre los dos secadores se puede afirmar que ambos evaporan igual cantidad de agua, además, que el gran período de tiempo que tarda la producción en eliminar la humedad se debe fundamentalmente a la inestabilidad con que se opera en estos equipos.

Capítulo III

Durante los días en que se desarrolla la prueba de secado, las muestras del punto 2 del laboratorio experimentaron mayor pérdida de humedad en comparación con las ubicadas en el punto 1 del propio local (ver anexos del 9 al10). Ello se debe en gran medida a que las láminas del punto 2 están expuestas al aire ambiente, el cual posee menor contenido de humedad que el flujo gaseoso proporcionado por el aire acondicionado instalado en la zona en la cual se encuentran las muestras del punto 1.

Por otro lado, las muestras del cubículo del laboratorio fluctuaron muy poco su peso y algunas se mantuvieron igual, mientras que las del punto 2 aumentaron su peso debido a que absorbieron la humedad atmosférica y que no estuvieron expuestas al vapor como las de los secaderos.

Con la información anterior se trazan las curvas de secado las cuales describen el comportamiento de dicho proceso en los puntos de prueba.

A continuación aparecen las curvas de secado en el secador 1.

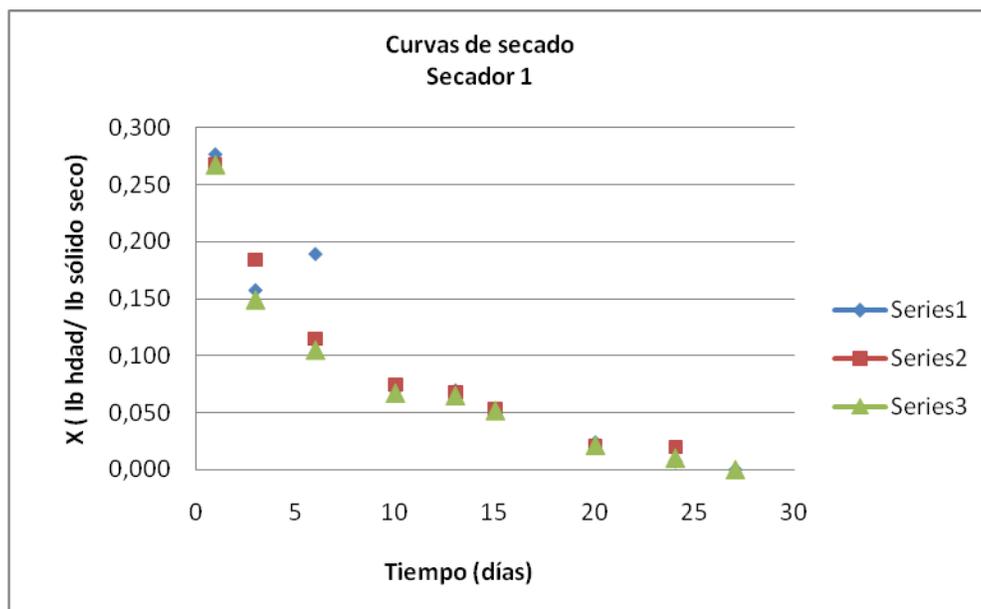


Figura 7: Curvas de secado del secador 1.

Capítulo III

Estas gráficas muestran cómo disminuye la humedad en las muestras con el paso del tiempo en el secador 1, siendo el tiempo de secado para el primer secador oscila entre los 25 y 30 días.

A continuación se muestran las curvas de secado correspondientes al segundo secador.

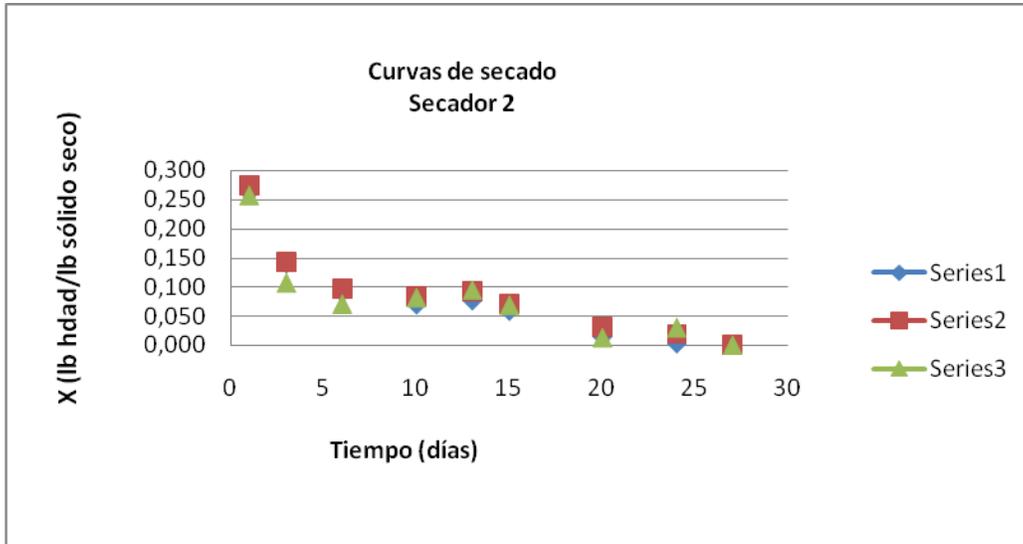


Figura 8: Curvas de secado del secador 2.

En el secador 2 todas las muestras se secaron en igual valor de tiempo, alrededor de 25 días.

Capítulo III

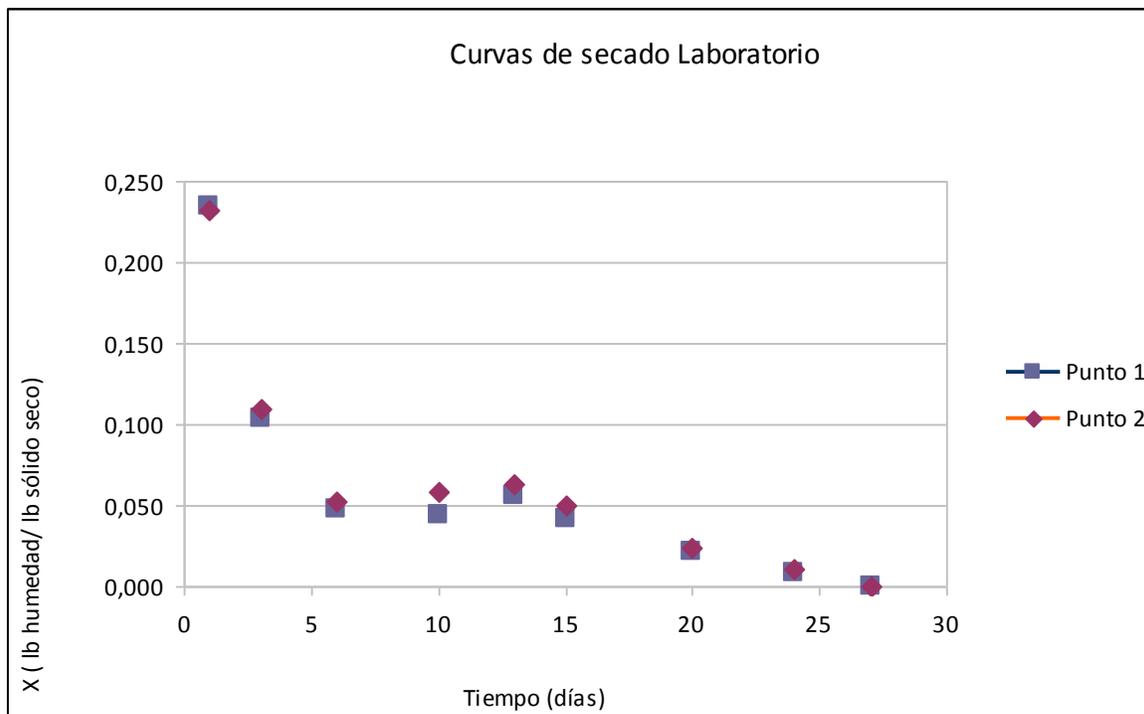


Figura 9: Curvas de secado de las muestras ubicadas en el laboratorio.

En las muestras que se colocan en el laboratorio también se le elimina la humedad en un periodo de 25 días como se muestra en el gráfico anterior.

El análisis de estas gráficas indica que tanto las muestras ubicadas en los secadores como las que se encontraban en el laboratorio obtuvieron un valor de humedad mínimo en el mismo periodo de tiempo, por lo que se puede afirmar que los túneles de secado no están funcionando adecuadamente.

Con el objetivo de conocer el tipo régimen de secado (N) con que ocurre esta operación en cada secador y en el laboratorio, se calcula el valor de N a cada valor de contenido de humedad (X) obtenidas en las pruebas de secado y se grafica N en función de X.

Con el fin de obtener una curva que brinde la mayor información posible, se ajustan los puntos a una línea de tendencia que agrupe la mayor cantidad de puntos. La función polinómica cumple con esta condición, pues el valor del coeficiente de correlación (R^2) es mayor del 75% en cada caso.

Capítulo III

A continuación se muestran las curvas de régimen de secado para cada punto del primer secador.

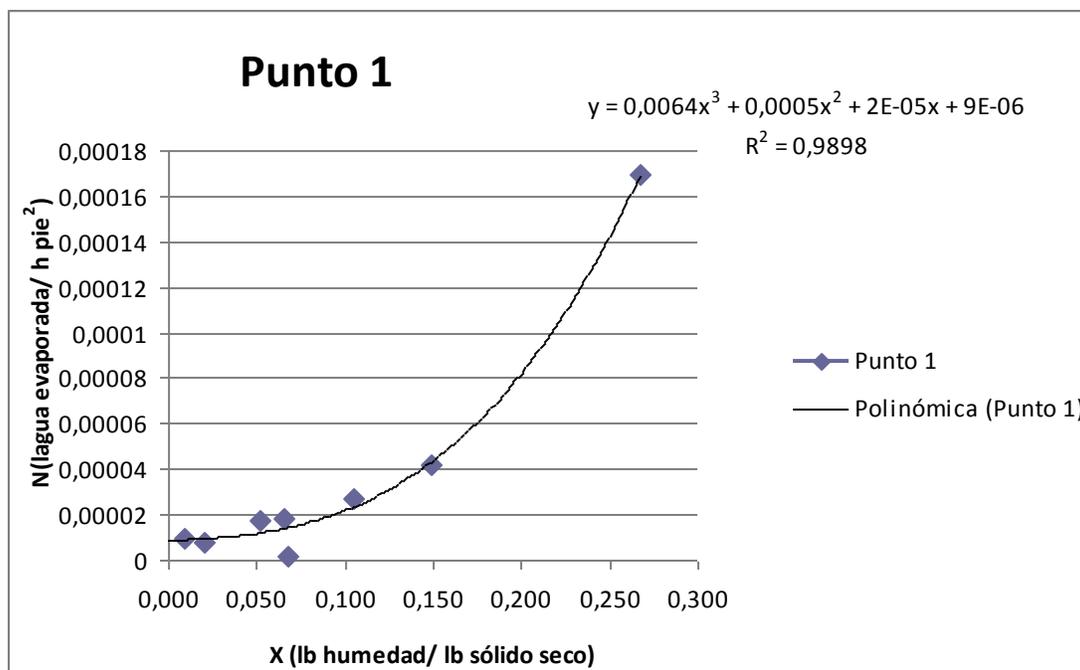


Figura 10: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 1 punto 1.

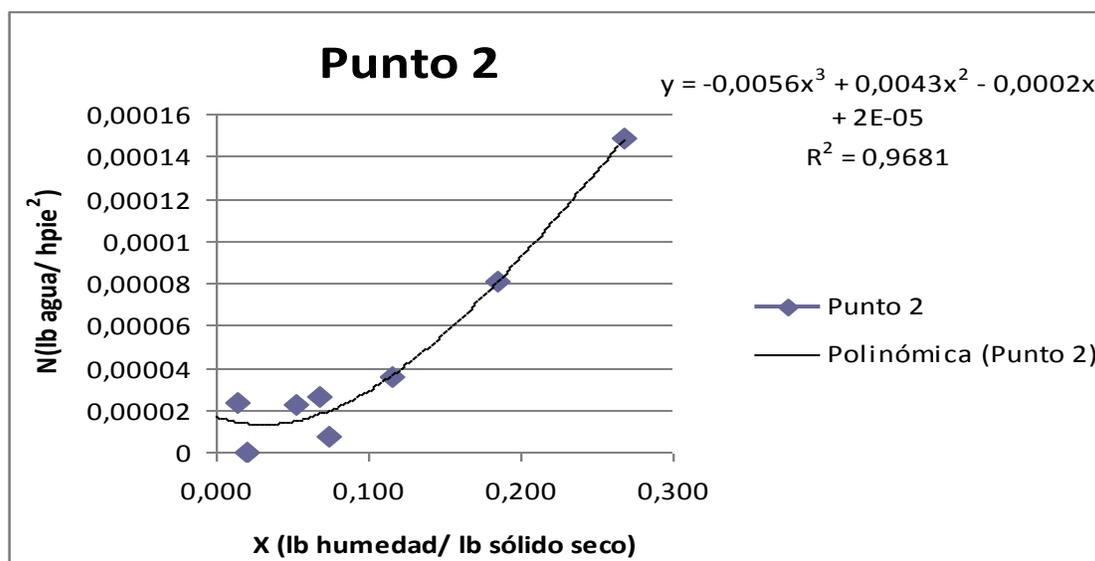


Figura 11: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 1 punto 2.

Capítulo III

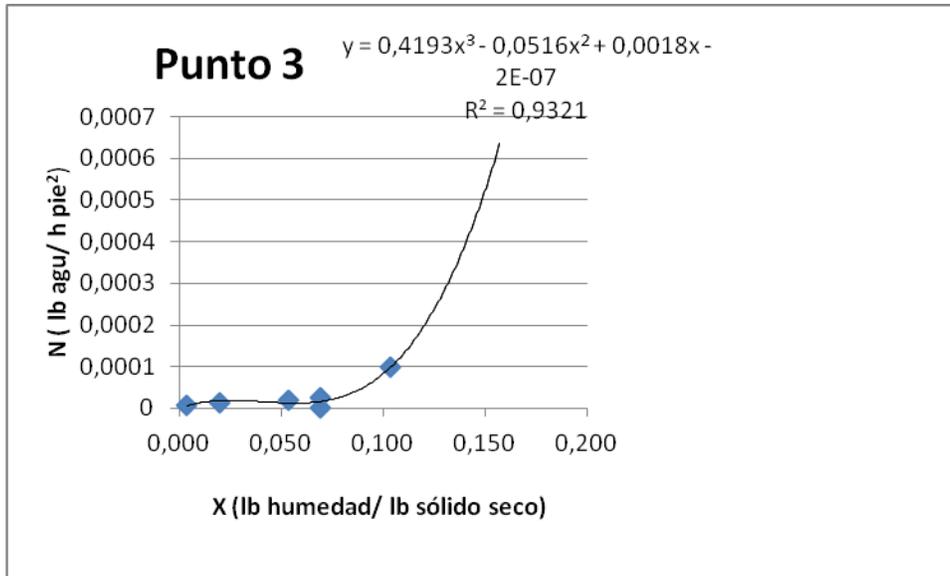


Figura 12: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 1 punto 3.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la operación de secado en el secador 1 ocurre en un régimen de secado decreciente. En este tipo de régimen se elimina la humedad ligada al sólido por lo que el régimen decae.

Las curvas de régimen de secado del segundo secador se muestran a continuación.

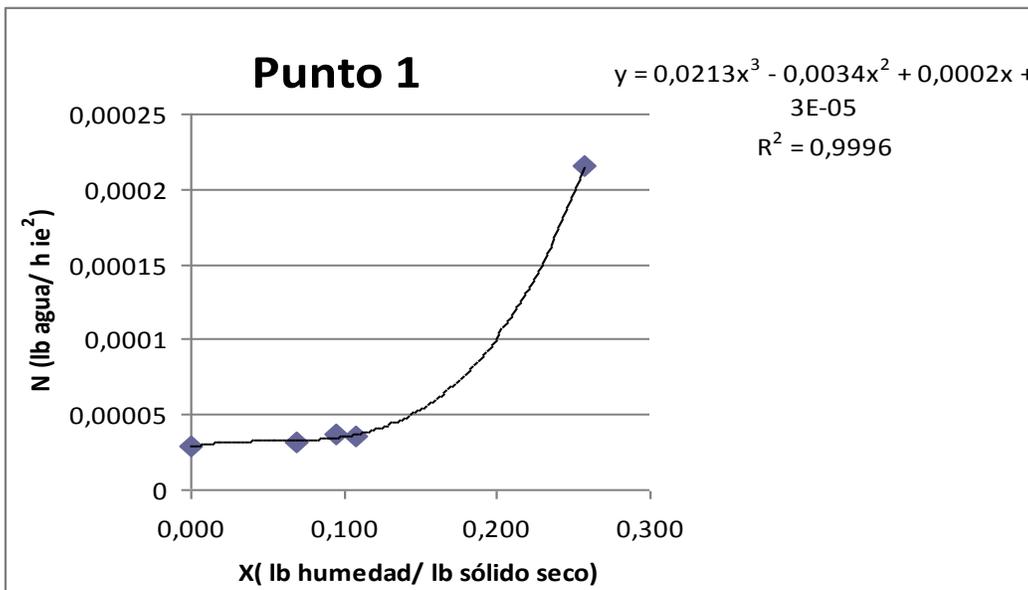


Figura 13: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 2 punto 1.

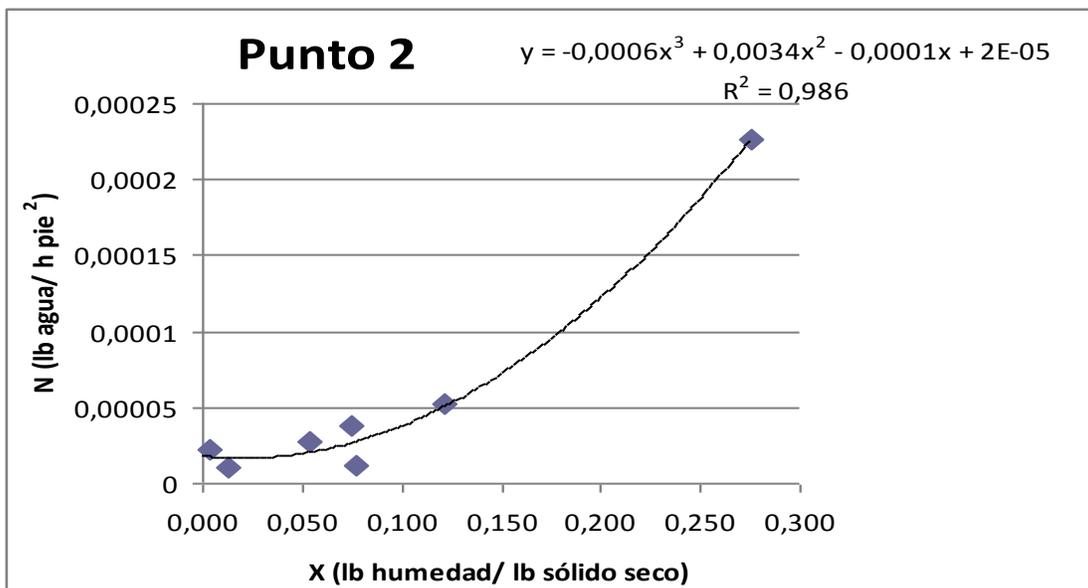


Figura 14: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 2 punto 2.

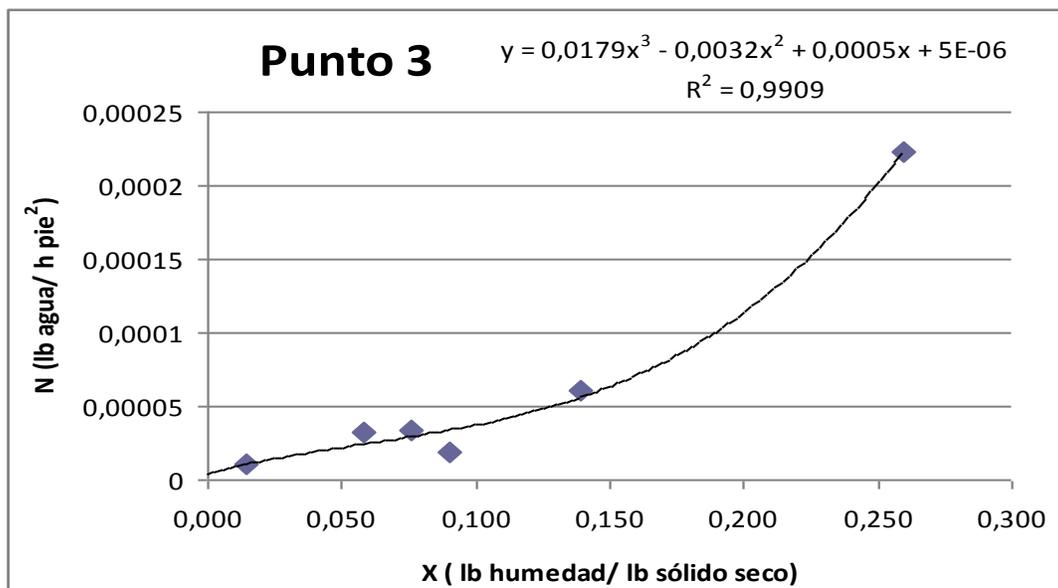


Figura 15: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Secador 2 punto 3.

Como se observa el régimen de secado en el segundo secador también describe una línea descendente.

Capítulo III

Las gráficas que se muestran a continuación corresponden a los puntos de prueba del laboratorio.

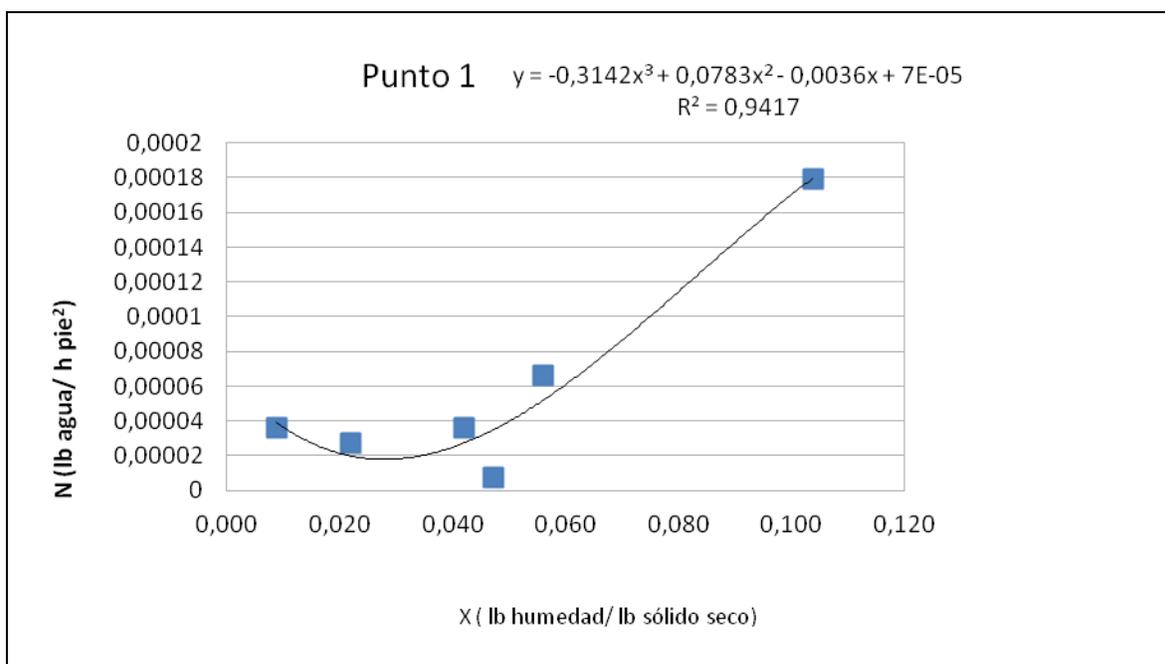


Figura 16: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Laboratorio. Punto1.

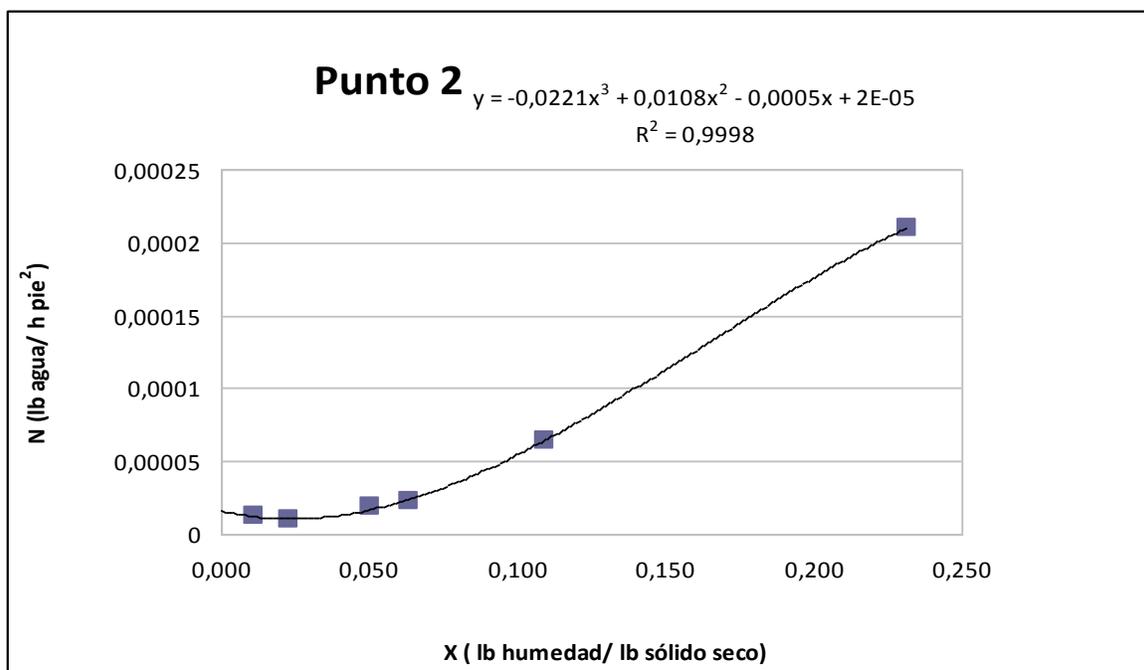


Figura 16: Curva de régimen de secado con los puntos agrupados en una línea de tendencia polinómica. Laboratorio. Punto1.

Capítulo III

Las gráficas mostradas anteriormente demuestran que el proceso de secado tanto en los secadores como en el laboratorio ocurre en régimen decreciente. En las que se observa gran similitud entre las curvas correspondientes a los puntos 1y 2 del primer secador, las tres ubicados en el segundo y el punto 2 del laboratorio. De igual manera sucede con el punto 3 de secador 1 y el 1 del laboratorio y su valor del coeficiente de regresión oscila entre 93 y 94%, por lo que no se toman en cuenta para realizar el análisis. El hecho de la mayoría de los puntos describan igual curva de régimen de secado evidencia que el proceso de secado ocurre del mismo modo tanto en los secadores como en cualquier lugar de la fábrica, por lo que dichos equipos no cumplen con su función.

Con los valores de régimen de secado que se obtienen se calcula el tiempo de secado de la fábrica mediante la ecuación 2.3. Los resultados de dicha determinación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.4: Valores del tiempo de secado calculado.

	Secador 1			Secador 2			Laboratorio	
Tiempo de secado (días)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2
	59	73	68	59	70	75	63	71
Tiempo de secado (mes)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2
	1.97	2.42	2.29	1.97	2.35	2.51	2.09	2.36

Como se puede observar no existe gran diferencias entre los tiempos en que tardan en secar las muestras colocadas en los diferentes puntos de observación de la prueba de secado realizada en la fábrica. Demostrándose así el mal funcionamiento de los secadores, pues tanto en la determinación matemática del tiempo de secado como a través de la curva típica de secado, las muestras colocadas en los secadores y en el laboratorio tardaron igual tiempo en secarse, y dichos valores están muy alejados del valor normado de tiempo de secado.

3.2-Análisis de la evaluación tecnológica de la propuesta de instalación de un nuevo extractor.

Al comenzar a poner a evaluar esta alternativa en la fábrica solamente estaban utilizando el secador 2, por lo que todo el análisis de en qué estado técnico se encuentran los extractores en la fábrica estará dado sobre la base de este secador.

Los 11 días en los que fueron realizadas las mediciones de temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo del aire dentro del secador, y de la velocidad del viento, las condiciones meteorológicas fueron jornadas de cielo abierto, despejados y soleados. Ello brindó la posibilidad de demostrar que efectivamente en la mañana la humedad atmosférica es mayor que en la tarde por lo que la transferencia de masa ocurre en menor cuantía.

No solo esto influye en el contenido de humedad del aire en el interior de los secaderos, ya que la fluctuación de esta variable también está en dependencia de la cantidad de sólido húmedo que el equipo contenga. Siendo así que resulta propicio describir cómo ha acontecido el régimen de trabajo durante estos días en la fábrica.

En el primer día de trabajo, en el secador solamente había 4 reportes (tanda de producción) los que ocuparon alrededor de un cuarto del volumen del secador, aumentando esta cantidad a 6 durante la jornada de la tarde. Esto explica por qué a pesar de que en las últimas horas de sol la temperatura aumenta, el contenido de humedad aumentó. Lo que se puede observar en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Evaluación del extractor.

Fecha	Día	Hora	Punto 1			Punto 2
			Tbs (°C)	Tbh (°C)	Y (kg hdad/kg gas seco)	Tbs (°C)
06/05/2013	1	10:15	40.2	24.8	0,013	50
		13:30	36.6	24.2	0,014	38.8
07/05/2013	2	10:00	35	31	0,028	45.4
		13:15	47	31	0,023	60
08/05/2013	3	10:10	38	35	0,035	47
		13:30	36	33	0,024	50

Capítulo III

09/05/2013	4	10:00	35.4	31.8	0,03	50
		13:30	28.8	27	0,02	30.2
10/05/2013	5	10:00	-	-	-	-
		13:30	37	33.3	0,028	60
13/05/2013	6	10:15	27	25	0,018	27.4
		13:30	28.8	26	0,019	30
14/05/2013	7	10:00	27.4	25.4	0,019	28
		13:15	28.4	26.6	0,021	30
15/05/2013	8	9:50	26.2	24.4	0,018	27
		14:30	27.6	26.2	0,021	28.6
16/05/2013	9	10:00	26.3	25.2	0,02	26.8
		13:30	28	25.4	0,021	28.6
17/05/2013	10	9:50	27.6	25.8	0,021	28.8
		13:30	28.6	26.8	0,02	30.6
20/05/2013	11	10:00	27.6	26.4	0,02	26.2

En el segundo día solo se añade medio reporte, por lo no varía mucho el contenido de humedad registrado en la tarde con respecto al de la lectura realizada en la mañana. Al día siguiente se colocan en los anaqueles la parte restante del reporte colgado anteriormente, además de otros dos, lo que ocasionó que la humedad aumentara considerablemente.

De igual manera se mantiene el comportamiento del contenido de humedad en los días posteriores, en los que la cantidad de tablillas de cola húmeda aumenta en la tarde, por lo que también lo hizo dicha variable.

Como se aprecia en la tabla 3.4 en el horario de la mañana del quinto día no se tomaron las lecturas de temperatura y velocidad del viento, ello se debió a que durante este tiempo en la fábrica fue retirado el fluido eléctrico, el cual no fue restablecido hasta el mediodía.

En el sexto día del período de evaluación del extractor, se coloca un noveno reporte, lo que provocó un aumento, en ambos puntos de mediciones, del contenido de humedad en el aire que circula por el interior del secador. En la primera hora de la mañana del siguiente día los operarios que laboran en esta etapa de producción se vieron obligados a retirar gran parte del reporte último reporte colocado, debido a que al llegar se encontraron con que se habían caído. Según la experiencia del jefe de los obreros de esta sección, y que lleva más de

Capítulo III

veinte años trabajando en la fábrica, por lo que posee un gran conocimiento en el ramo, la caída de las láminas de cola se debe a que estas poseían una mayor composición de líquido que de sólido, es decir, que aún no habían alcanzado el estado gel. Por esta razón, las tabletas no se han podido sostener al estar suspendidas, como consecuencia de la ínfima fuerza gel que la cola en este estado son capaces de producir. La fuerza gel es la resistencia que presentan los geles a las deformaciones.

Esta ha sido el principal motivo por la cual en el momento de realizar las lecturas del séptimo día, en el horario de la mañana, existía menor cantidad de láminas con respecto al anterior, lo que ha repercutido en la humedad como se observa en la tabla 3.4. Ya en la tarde el lote que tuvo que ser retirado fue colocado nuevamente. Esto, unido a que a dicha hora existían las mismas condiciones ambientales (entiéndase T_{bs} y T_{bh}) dentro del secador, ocasionaron que el contenido de humedad del aire en los días 6 y 7 fueran iguales. (Ver tabla 3.4)

A partir de este momento no ocurrieron cambios en las condiciones de trabajo en los secadores. Con el objetivo de contar con más réplicas de las lecturas se tomó la decisión de medir las temperaturas en los dos puntos con los dos psicrómetros con que se contaba para ello. Estas mediciones no presentan diferencias significativas entre ellos por lo que se toma una sola réplica. No obstante, es evidente que el contenido de humedad más elevado obtenido apenas supera las 0.02 lb de humedad/ lb de gas seco, lo cual se debió a que desde en las horas de la tarde del 9 de mayo el generador de vapor de la fábrica no estaba funcionando por falta de combustible.

Sin embargo este inconveniente permitió realizar una comparación, en cuanto a la temperatura, entre los días en que hay suministro de vapor y los que no. En las tablas 3.4 y 3.5 se muestran el comportamiento de la temperatura en estos días.

Capítulo III

Tabla 3.5: Evaluación del extractor con inyección de vapor.

Fecha	Día	Hora	Punto 1			Punto 2
			Tbs (°C)	Tbh (°C)	Y (kg hdad/kg gas seco)	Tbs (°C)
06/05/2013	1	10:15	40.2	24.8	0,013	50
		13:30	36.6	24.2	0,014	38.8
07/05/2013	2	10:00	35	31	0,028	45.4
		13:15	47	31	0,023	60
08/05/2013	3	10:10	38	35	0,035	47
		13:30	36	33	0,024	50
09/05/2013	4	10:00	35.4	31.8	0,03	50

Tabla 3.6: evaluación del extractor sin inyección de vapor.

Fecha	Día	Hora	Punto 1			Punto 2
			Tbs (°C)	Tbh (°C)	Y (kg hdad/kg gas seco)	Tbs (°C)
09/05/2013	4	13:30	28.8	27	0,02	30.2
10/05/2013	5	10:00	-	-	-	-
		13:30	37	33.3	0,028	60
13/05/2013	6	10:15	27	25	0,018	27.4
		13:30	28.8	26	0,019	30
14/05/2013	7	10:00	27.4	25.4	0,019	28
		13:15	28.4	26.6	0,021	30
15/05/2013	8	9:50	26.2	24.4	0,018	27
		14:30	27.6	26.2	0,021	28.6
16/05/2013	9	10:00	26.3	25.2	0,02	26.8
		13:30	28	25.4	0,021	28.6
17/05/2013	10	9:50	27.6	25.8	0,021	28.8
		13:30	28.6	26.8	0,02	30.6
20/05/2013	11	10:00	27.6	26.4	0,02	26.2

Como se observa en estas tablas, en los días en los que hay inyección de vapor el aire al pasar por el intercambiador de calor experimenta un aumento de temperatura. Lo que demuestra que el aumento de la diferencia de temperatura entre el punto de entrada (punto 2) y de salida (punto 1) del aire favorece la transferencia de masa. La humedad del aire a la entrada del secador es de

Capítulo III

0.015kg hdad/kg gas seco, mientras que la humedad promedio del flujo gaseoso a la salida de dicho equipo es de 0.021 kg hdad/kg gas seco.

El objetivo de esta propuesta es comprobar si el extractor es capaz de mover el flujo de aire que se requiere para que la operación de secado ocurra satisfactoriamente en la fábrica. Para ello se determina dicho caudal teórico y experimentalmente. Los resultados que se obtienen de las mediciones de velocidad se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Valores de las mediciones de la velocidad del aire dentro del secador.

Fecha	Día	Hora	Velocidad del aire (m/s)
5/6/2013	1	10:15	0.78
		13:30	0.84
5/7/2013	2	10:00	0.82
		13:15	0.81
5/8/2013	3	10:10	0.83
		13:30	0.84
5/9/2013	4	10:00	0.81
		13:30	0.8
5/10/2013	5	10:00	-
		13:30	0.77
5/13/2013	6	10:15	0.82
		13:30	0.84
5/14/2013	7	10:00	0.8
		13:15	0.82
5/15/2013	8	9:50	0.85
		14:30	0.82
5/16/2013	9	10:00	0.77
		13:30	0.81
5/17/2013	10	9:50	0.79
		13:30	0.83
5/20/2013	11	10:00	0.81
Media (m/s)			0.813
Coeficiente de variación (m/s)			0.0229
Variación estándar (%)			2.824

Utilizando el valor medio de velocidad del aire se determina el flujo real (Fr) de aire que es capaz de mover el extractor. En la tabla siguiente se muestran los valores

Capítulo III

del flujo real y teórico del aire determinados en la evaluación técnica de esta alternativa.

Tabla 3.8: Valores del flujo de aire en los secadores.

Flujo de aire experimental (Fr)	138 747.8 kg/h
Flujo de aire teórico (Gs)	171 593. 9 kg/h

Es evidente que el flujo de aire que se obtiene por el balance de masa es superior al que se determina mediante la medición del flujo real que mueve el extractor. Ello significa que el extractor no proporciona el flujo gaseoso necesario para que las láminas de cola estén secas en un plazo de 12 días.

Al ser Fr menor que Gs, provoca que el tiempo de secado aumente producto a que el aire es capaz de absorber menor cantidad de humedad, por lo que para eliminar el contenido de agua de la tablillas de cola hasta el por ciento normado se necesitará más tiempo. Siendo así que se hace necesario proponer la instalación de un nuevo extractor que garantice que la circulación del aire se igual a Gs.

El nuevo extractor a instalar deberá poseer 4 aspas para garantizar la mejor circulación del aire. Como dicho equipo no estará en contacto con sustancias corrosivas, el material de construcción puede ser acero al carbono, el cual por ser un metal barato no encarecerá la producción. Además, como se planteó anteriormente, el nuevo extractor debe garantizar que el flujo de aire que circule a través del secador sea igual al flujo teórico.

3.3- Análisis de la evaluación técnica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

El objetivo de esta propuesta es determinar a cantidad de sólido que es necesario introducir en los secadores para que el tiempo de secado establecido en 12 días se cumpla.

La cantidad de sólido con que llenan los secadores se muestra en la siguiente tabla.

Capítulo III

Tabla 3.9: Masa de sólido en los secadores.

Masa de sólido en cada lote de producción	Ls (kg)
19	190
20	179
21	186
22	175
23	177
24	168
25	188
26	188
27	181
28	165
29	168
30	168
31	150
32	168
33	150
34	150
Masa de sólido total	2 751

A continuación se muestran los valores de masa de sólido que se obtiene con la implementación de esta propuesta en un tiempo de 12 días y la masa de sólido real que se obtiene en una vez culminado el tiempo de secado con que opera la fábrica.

Tabla 3.10: Valores de masa de sólido real y para $\theta=12$ días.

Masa de sólido seco real	2 751 kg
Masa de sólido seco calculada para 12 días	1 272.7 kg

Este resultado que se obtiene señala que efectivamente una de las causas de que el tiempo de secado en la fábrica exceda el normado es la sobrecarga de los secadores.

Actualmente dichos equipos se encuentran en unas condiciones técnicas deplorables, en cuanto a flujo de aire se refiere. Como se demostró en el tópico anterior, el flujo de aire técnicamente necesario es superior al real, lo que significa que el flujo de aire que mueve el extractor es incapaz de garantizar que la

Capítulo III

extracción de la humedad de las tablillas de cola se efectúe en el tiempo establecido.

Esta situación se agudiza al colocar dentro de los secaderos una cantidad de lotes superior al requerido. Ello se debe a que al aumentar la masa de sólido húmedo, aumenta también la humedad a evaporar, por lo que al flujo gaseoso real ser menor al teóricamente necesario, bajo las mismas condiciones, es de esperar que el tiempo de secado aumente.

El valor de la masa de sólido seco presentado en la tabla 3.9 para un tiempo θ de 12 días se calcula en función de un solo secador, el cual en comparación con la masa de sólido (L_s) real es considerablemente menor. Sin embargo, al determinar la masa de sólido seco que se obtendría en los dos secadores se aprecia una diferencia entre estos y L_s real muy pequeña, con la cual no se llega a completar un segundo llenado de uno de los secadores. En la tabla siguiente se ilustra la diferencia entre la masa de sólido de los dos secadores y la masa de sólido real.

Tabla 3.11: Valores de masa de sólido real y para $\theta=12$ días (en los dos secadores).

Masa de sólido seco real	2 751 kg
Masa de sólido seco total en los secadores	2 545.5 kg

Esto quiere decir, que utilizando los dos secadores se logra secar 2 545.5 kg de adhesivo en un tiempo de 12 días. Quedando pendiente 205.5 kg de sólido. Para determinar el tiempo que demora en secarse la masa de sólido restante, se utiliza la ecuación 2.3 correspondiente al tiempo de secado ya que las condiciones de contenido de humedad del sólido a la entrada y salida del secador, así como el valor del régimen de secado y el área de superficie húmeda permanecen constante. En este caso el valor de L_s se sustituye por la masa de sólido restante. Como se observa en la ecuación 2.3, el tiempo de secado es directamente proporcional a L_s , por lo que al disminuir el valor de L_s también disminuye el tiempo de secado. Siendo así que el tiempo de secado para la masa de sólido

Capítulo III

pendiente es de 2 días, por lo tanto, para obtener las 2 751 kg de sólido seco la fábrica se tardará 14 días.

El análisis técnico de esta alternativa demostró que la masa de sólido que se requiere para cumplir con el tiempo de secado establecido según la norma es inferior comparado con la cantidad de sólido que actualmente llenan los secadores. Además, con la puesta en práctica de esta alternativa se logra obtener una mayor producción, pues en la fábrica se alcanza como promedio 1.47 t en un mes bajo las condiciones actuales de trabajo, y con la propuesta se logra 5.1 t.

A pesar de que con esta alternativa se garantiza obtener 5 091 kg de sólido seco en un mes, implica un cambio drástico en las condiciones y métodos de trabajo de los operarios en esta etapa de la producción. Como el proceso de la fábrica es un proceso discontinuo (batch), cada vez que las tártaras de cola han gelificado, son cortadas en tablillas e introducidas en los secaderos. Llegándose a realizar esta operación hasta tres veces en una sola jornada laboral, siempre y cuando no se haya agotado la cantidad de sólido proveniente de la etapa de gelificación o que los secaderos aún puedan contener más láminas de cola. Ello indica, que ese día los túneles de secado son abiertos constantemente, momentos en los cuales en el interior de los secaderos se experimenta una pérdida de energía calorífica y un aumento de la humedad debido a la inclusión del aire atmosférico circulante, que al entra por las puertas y no a través del intercambiador de calor, no ha elevado su temperatura.

Es por ello que para que esta alternativa sea llevada a cabo es necesario un control de la cantidad de láminas de cola colocadas en los secadores. Es decir, que se debe velar porque la cantidad de sólido en cada túnel de secado no exceda las 1 272.7 kg. Luego pasado los 12 días normados como tiempo de duración de esta operación, verificar si efectivamente estén secas las láminas de cola, y volver a repetir la operación anteriormente descrita.

El cumplimiento de $\theta = 12$ días está en dependencia del contenido de humedad del sólido al entrar en los secaderos. Lógicamente, si este valor es superior al 40%, el tiempo de secado se retrasará.

Capítulo III

El buen desempeño de esta alternativa también exige que en los 12 días pertinentes los secadores no sean abiertos y que la inyección de vapor al intercambiador de calor sea constante. Siendo así que parámetros como el control de la masa de sólido, la clausura de los secadores y la persistencia de la fuente de calor que eleva la temperatura del aire, son imprescindibles para que esta alternativa sea eficiente.

3.4- Análisis de la evaluación técnica de la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

La implantación de esta propuesta resulta muy atractiva, pues el ácido sulfúrico que se obtiene a la salida de la torre puede ser reutilizado en la producción de cola o vendido.

A continuación se muestra una tabla que ofrece los resultados de los flujos de gas y de líquido con los cuales deben operar la torre de absorción, así como las composiciones de agua en las corrientes de entrada y salida de la misma:

Tabla 3.12: Flujos de gas y de líquido y composiciones de amoníaco en las corrientes de entrada y salida de la torre de absorción.

Parámetro	Unidad de Medida	Valor
Fracción molar de agua en el gas a la entrada (y_1)	-	0.015
Fracción molar de agua en el gas a la salida (y_2)	-	0.011
Fracción molar de agua en el líquido a la entrada (x_2)	-	0.02
Fracción molar de agua en el líquido a la salida (x_1)	-	0.023
Flujo de gas a la entrada (G_1)	m ³ /h	685.5
	kg/h	138 747.8
	kmol/h	4 836
Flujo de gas a la salida (G_2)	kmol/h	4 806
Flujo de líquido a la salida (L_1)	kg/h	2 499
	kmol/h	51.31

Capítulo III

En el diseño de absorbedores, la cantidad del gas que se va a tratar, las concentraciones finales y la composición del líquido entrante, generalmente se fijan por las necesidades del proceso, pero la cantidad de líquido que se va a utilizar es sujeto de elección.

Si se utiliza menos líquido, la composición del líquido saliente será obviamente mayor, puesto que las fuerzas motrices para la difusión son menores, la absorción es más difícil. El tiempo de contacto entre el gas y el líquido debe ser mayor y el absorbedor debe ser lógicamente más alto.

Debe tenerse en cuenta, además, que para una velocidad del gas dada la caída de presión aumenta con el aumento del régimen de líquido, debido principalmente a la reducida sección transversal libre, disponible para el flujo de gas, en razón de la presencia del líquido; por tanto, garantizar que la torre no trabaje en condiciones cercanas a las de inundación (desde el punto de vista de los regimenes de líquido), evita que tenga lugar una elevada caída de presión en la misma.

Seguidamente se muestran los resultados fundamentales en la determinación de los principales parámetros de diseño de la torre de absorción:

Tabla 3.13: Resultados fundamentales en la determinación de los principales parámetros de diseño de la torre de absorción.

Parámetro	U.M	Valor
Altura global o total de una unidad de transferencia referida a la fase gaseosa (H_{tOG})	m	0.56
Cantidad de piezas de empaque	-	17 622
Altura total de la torre (Z_T)	ft	18.53
	m	5.65
Área de la sección transversal (A)	ft ²	19.02
Diámetro de la torre (d_T)	ft	4.92
	m	1.5

Capítulo III

Tanto en las torres de platos como en las torres rellenas, resulta de gran importancia el cálculo del diámetro, el cual está en dependencia de los flujos de líquido y de gas, ya que se selecciona el punto de la torre con mayores flujos para determinar el diámetro.

La sección transversal de la torre diseñada, y, por tanto, el diámetro de la torre resultan ser de magnitud suficiente para manipular los flujos de gas y de líquido con vistas a no causar la inundación o el arrastre excesivo de líquido.

A partir de determinarse que el diámetro de la torre es de 1.5 m, puede comprobarse que la elección de la torre rellena para llevar a cabo la operación de absorción, fue correcta, puesto que a pesar de que el límite superior permisible para escoger este tipo de torre es 1 m, la magnitud de los flujos lo justifican, en especial el gaseoso.

A continuación se muestra una tabla que contiene los materiales de construcción.

Tabla 3.14: Materiales de construcción de la columna de absorción.

Parte de la columna	Material
Coraza	Acero inoxidable
Empaque	Cerámica

La selección del material de construcción de la torre depende del tipo de fluidos que estén involucrados en el proceso, así como las condiciones en las cuales se encuentran.

Las corrientes líquida y gaseosa que circulan por el interior de la torre están constituidas en mayor cuantía por ácido sulfúrico y aire atmosférico respectivamente. La concentración a la cual se encuentra el ácido sulfúrico no es peligrosa desde el punto de vista de la corrosividad, pues esta sustancia tiene la peculiaridad de ser altamente corrosivo a concentraciones inferiores al 60%. El aire atmosférico, por su parte, no presenta ninguna característica a tener en cuenta para la selección del tipo de material de construcción.

Entre los posibles materiales encontrados para la construcción de la columna de absorción es el acero inoxidable el que menor velocidad de corrosión presenta

Capítulo III

frente a la agresividad del ácido sulfúrico. A la temperatura y concentración con que este ácido recorre la columna, la velocidad de corrosión del material seleccionado posee un valor de 0.05 in por año.

Los empaques de la columna son de cerámica ya que este material no reacciona frente a los componentes de las corrientes involucradas en el proceso y fundamentalmente a la agresividad corrosiva del ácido sulfúrico.

3.5-Análisis de la evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.

En la evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.15: Resultados de la evaluación económica de la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Precio unitario del producto (Pup)	\$/t	2 243.34
Costo unitario del producto (Cup)	\$/t	2 036.12
Volumen de la producción (N)	t/a	83
Valor de la producción (VP)	\$/a	202 072.56
Costo de la producción (CP)	\$/a	167 979.9
Ganancia (G)	\$/a	33 595.65
Inversión	\$	55 537 000
Amortización (A)	\$/a	5 553 700
Por ciento de retorno (% Ret)	%	10.06
Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI)	Años (a)	10
Rentabilidad (Rn)	%/a	20
Costo por peso (CP/P)	-	0.83

Capítulo III

Al analizarse los principales indicadores de eficiencia económica de la producción, puede observarse que la ganancia es positiva y significativa.

La rentabilidad que se obtiene está en el rango admisible de este indicador, pues para la industria química se considera aceptable la rentabilidad que se encuentre entre 20 y 35%.

El costo por peso producido se considera un valor aceptable ya que para que la producción sea eficiente el valor de este indicador debe oscilar entre 0.77 y 0.85.

Puede considerarse que la producción de la planta es económicamente factible ya que cumple con todos los indicadores de eficiencia económica de la producción.

Según Brizuela (1987); Peters (1991) y Turton (1998) el valor del por ciento de retorno de la inversión oscila entre 17 y 19%. Por tal motivo no se acepta la inversión.

El plazo de recuperación de la inversión también afirma que no se debe aceptar la inversión, pues según este, la instalación del nuevo extractor se terminará de pagar cuando el tiempo de vida útil del equipo ya caducó.

A pesar de que esta propuesta significa un aumento del volumen de producción, lo que conlleva a la elevación del monto de la ganancia, y que los indicadores de la eficiencia de la producción obtengan valores aceptables; no se puede admitir la inversión para la instalación de un nuevo extractor, pues el valor de los indicadores de la eficiencia de la inversión al ser menor que lo normado así lo afirman.

3.6-Análisis de la evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

En el análisis económico de los principales indicadores de eficiencia económica de la producción se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.16: Resultados de la evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

Capítulo III

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Precio unitario del producto (Pup)	\$/t	2 243.34
Costo unitario del producto (Cup)	\$/t	2 036.12
Volumen de la producción (N)	t/a	61
Valor de la producción (VP)	\$/a	149 268.74
Costo de la producción (CP)	\$/a	124 390.82
Ganancia (G)	\$/a	24 877.92
Rentabilidad (Rn)	% /a	20.00
Costo por peso (CP/P)	-	0.83

La ganancia es uno de los indicadores de la eficiencia de la producción más importantes y concluyentes, pues de no obtenerse un valor apreciable automáticamente se desecha la alternativa. Puede observarse que la ganancia es de 24 877.92 \$/año, que es una ganancia positiva y significativa.

La rentabilidad es de un 20%. Para la industria química se considera aceptable la rentabilidad que se encuentre entre 20 y 35%, por lo que se deberá tener mucho cuidado al aceptar esta alternativa, pues este indicador no ofrece un valor muy cómodo.

Por otra parte el costo por peso producido es de 0.83, lo cual se considera un valor aceptable ya que lo establecido es que el valor de este indicador oscile entre 0.77 y 0.85.

Puede considerarse que esta alternativa es económicamente factible ya que cumple con todos los indicadores de eficiencia económica de la producción.

Los rangos establecidos para los indicadores económicos han sido planteados por Brizuela, (1987), Peters, (1991) y Turton, (1998).

Como se refiere en el epígrafe 3.3, la masa de sólido (volumen de producción) que se obtiene en un mes con la propuesta de distribuir las cargas en los secadores es mayor que el volumen de producción que realmente produce la fábrica, por lo que con la implantación de esta propuesta la planta obtiene mayor ganancia.

3.7- Análisis de la evaluación económica de la propuesta de instalar una columna de absorción gaseosa.

Esta propuesta resulta muy atractiva, pues el ácido sulfúrico que se obtiene a la salida de la torre se encuentra diluido y pudiera ser utilizado en otro proceso o comercializado por la fábrica, lo cual representa la diversificación de la producción, y por ende mayor ganancia. Además de garantizar un ahorro de combustible ya que no se necesitaría calentar el aire para favorecer la transferencia de masa, pues, el aire al salir de la columna estaría relativamente seco, con un contenido de humedad de 0.011 lb de humedad/ lb de aire seco.

El Valor Actual Neto y la Taza de Recuperación de la Inversión (indicadores de la eficiencia de la inversión) no fueron tomados en cuenta ya que solo es de interés en esta propuesta conocer cómo influye en la economía de la planta la inserción de una columna de absorción gaseosa en la etapa de secado, es decir, con qué ritmo regresa la inversión a través de la ganancia que se obtiene con esta propuesta; ya que con la instalación de la torre se pretende reducir el tiempo de secado, con lo que aumenta el volumen de producción. Por lo que solo es de utilidad conocer el costo de la columna y su instalación.

Uno de los requisitos que debe cumplirse para que esta se pueda aceptar es que el por ciento de retorno sea mayor que el normado. Brizuela (1987); Peters (1991) y Turton (1998) coinciden en que el valor de este indicador para la industria química se encuentra entre el 17 y 19%.

A continuación se muestra una tabla con los principales resultados de la evaluación económica de esta propuesta.

Tabla 3.17: Resultados de la evaluación económica de la propuesta de instalar una columna de absorción gaseosa.

Capítulo III

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Precio unitario del producto (Pup)	\$/t	2 243.34
Costo unitario del producto (Cup)	\$/t	2 255.81
Volumen de la producción (N)	t/a	83
Valor de la producción (VP)	\$/a	202 072.56
Costo de la producción (CP)	\$/a	186 555.5
Ganancia (G)	\$/a	15 509.16
Inversión	\$	1 515 867 800
Amortización (A)	\$/a	137 806 163.64
Por ciento de retorno (% Ret)	%	9.092
Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI)	Años (a)	10.999
Rentabilidad (Rn)	%/a	8.31
Costo por peso (CP/P)	-	0.91

Al analizarse los principales indicadores de eficiencia económica de la producción, puede observarse que la ganancia es positiva y significativa.

La rentabilidad que se obtiene con esta propuesta está totalmente fuera de rango, pues los límites establecidos para este indicador son del 20 al 35%.

De igual manera ocurre con el costo por peso producido, cuyo valor supera al límite superior de este indicador. Lo establecido es que se encuentre entre 0.77 y 0.85.

El por ciento de retorno es de 9.092 %, por tanto la inversión no retorna a través de la ganancia a un ritmo anual superior al establecido. Esto quiere decir, que a pesar de que se obtiene ganancias con la implantación de esta alternativa, su valor no es suficiente para que se acepte la inversión.

Con el ritmo anual con que retorna la inversión, esta se podrá recuperar en un plazo cercano a los 11 años.

Capítulo III

Teniendo en cuenta que todos los indicadores de eficiencia económica de la producción y de la inversión no arrojan resultados aceptables, no se puede aceptar la inversión.

3.8- Comparación de las propuestas de alternativas.

En el presente epígrafe se realiza la comparación técnica y económica de las propuestas con el objetivo de seleccionar la más factible.

A continuación se muestra una tabla que contiene la masa de sólido (Ls) que se obtiene en un año con cada propuesta.

Tabla 3.18: Valores de masa de sólido seco que se obtiene con cada propuesta.

Propuesta	Masa de sólido, t/año.
Instalación de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones de trabajo.	83
Distribuir las cargas de sólido en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.	61
Secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.	83

Con la primera y la tercera propuesta se obtiene igual cantidad de sólido, la cual es mayor que la que se obtiene con la segunda propuesta. Ello se debe a que con la instalación de un nuevo extractor o de la columna de absorción gaseosa se alcanza el tiempo de secado establecido con los secadores llenos de láminas de cola. Mientras que con la propuesta de distribuir las cargas de sólido en los secadores, la masa de sólido se restringe hasta 1.27t cada 12 días en cada secador.

Seguidamente se realiza la comparación de las propuestas desde el punto de vista económico. Para ello se hace necesario la utilización de simbología debido al escaso espacio existente entre las celdas de la tabla. La simbología a utilizar se muestra a continuación:

Capítulo III

1era- Evaluar la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.

2da- Evaluar la propuesta distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.

3era- Evaluar la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

La tabla que se muestra a continuación ilustra los valores de los indicadores económicos.

Tabla 3.19: Indicadores económicos.

Indicadores económicos	Propuestas		
	1era	2da	3era
Costo de producción, \$/a	167 979.9	124 390.82	186 555.5
Valor de la producción, \$/a	202 072.56	149268.74	202 072.56
Ganancia, \$/año	33 595.65	24 877.92	15 509.16
Rentabilidad, %/a	20	20	8.31
Costo por peso	0.83	0.83	0.91
Por ciento de retorno, %	10.06	-	9.092
Plazo de recuperación de la inversión, año	10	-	11

A pesar de que la primera y tercera propuesta poseen igual volumen de producción, el costo de producción (CP) entre ellos es diferentes. Ello se debe a que el costo de producción de la propuesta de secar el aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa se encarece debido a que el costo unitario del producto (Cup) es el resultado de la suma del Cup que la empresa tiene fijado para la producción de cola y del costo de adquisición del ácido sulfúrico. Siendo este el motivo por el cual la producción de cola a partir de la implementación de la primera propuesta es menos cara de producir que con la implementación de la tercera.

Capítulo III

Por otro lado, la propuesta de instalar un nuevo extractor y de secar el aire atmosférico poseen igual Cup, sin embargo, al obtenerse con esta última menor volumen de producción, esto hace que sea menor su costo de producción. Siendo así que en orden ascendente del valor del costo de producción el orden de las propuestas es:

1. Evaluar la propuesta distribuir las cargas de sólidos en los secadores a fin de mejorar la transferencia de masa.
2. Evaluar la propuesta de un nuevo extractor de aire bajo las condiciones actuales de trabajo.
3. Evaluar la propuesta de secado del aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa.

El precio unitario del producto (Pup) de las tres propuestas son iguales, por lo que la magnitud del valor de la producción (VP) depende del volumen de producción, por lo que con la segunda propuesta se logra un menor valor de la producción, mientras que las dos restantes poseen igual valor.

Entre las propuestas que mayor VP poseen es la de evaluar un nuevo extractor la menos costosa, por lo que es la propuesta con la que mayor ganancia se obtiene. A pesar de que con la tercera propuesta se obtiene mayor volumen de producción con respecto a la segunda, el valor de costo de producción es tan elevado que la ganancia obtenida con ella no sobrepasa a la ganancia que se obtiene con la segunda propuesta.

Debido a que la propuesta de secar el aire atmosférico es la propuesta más costosa, esto trae consigo que la producción no sea rentable. Las restantes propuestas si lo son. El indicador costo por peso tiene igual comportamiento.

Los indicadores de la eficiencia de la inversión de las propuestas a instalar no están totalmente fuera de rango, pues indican que la inversión retorna a través de la ganancia en un plazo de tiempo igual al tiempo de vida útil del equipo a instalar. Siendo así entonces que la propuesta más factible es la de distribuir las cargas de sólido en ya que los valores de los indicadores de la eficiencia producción señalan que se puede aceptar la propuesta. En cambio, la propuesta de instalar un nuevo extractor si cumple con los parámetros de los indicadores de la eficiencia de la

Capítulo III

producción, mas tiene como limitación que no se puede aceptar la inversión por lo ya antes expuesto. Mientras que la propuesta de secar el aire atmosférico con ácido sulfúrico por el proceso de absorción gaseosa no se puede aceptar a causa de que tanto los indicadores de la eficiencia de la producción como los de la inversión están totalmente fuera de rango.

Conclusiones Parciales

1. Mediante la prueba de secado realizada a los secadores de la fábrica se demostró que estos equipos no cumplen con su función debido a las pésimas condiciones técnicas en las que se encuentran y el valor del tiempo de secado oscila entre los 27 días, cuando el normado es de 12 días; también se determinó que el régimen de secado en que ocurre esta operación es decreciente y el tiempo de secado real igual a 67 días.
2. Mediante el balance de masa y la toma experimental del flujo de aire que mueve el extractor de los secadores se determinó que este equipo no proporciona el la cantidad de aire necesaria para que la etapa de secado cumpla con tiempo de 12 días, ya que el flujo de aire experimental es de 138 747.8 kg/h mientras que el teórico tiene un valor de 171 593. 9 kg/h.
3. El análisis técnico de la propuesta de distribuir las cargas en los secadores demostró que con esta propuesta se obtiene mayor volumen de producción, 5.1 t/mes cuando bajo el régimen normal de trabajo se obtienen 1.47 t/mes.
4. La columna de absorción diseñada es una torre rellena con anillos Raschig cerámicos de tres pulgadas, cuya coraza será de acero inoxidable al igual que sus elementos internos debido a la corrosividad del ácido sulfúrico; de 1.5 m de diámetro y 5.65 m de altura. La misma operará a temperatura ambiente y presión atmosférica, condiciones que favorecen la difusión del agua en la fase líquida.
5. En la evaluación económica de la propuesta de distribuir las cargas de sólido en los secadores se obtuvo como resultado que lo indicadores de le

Capítulo III

eficiencia de la producción están dentro del rango normado para cada uno de ellos ($R_n=20\%/año$ y $CP/P=0.83$).

6. Costo de instalación necesario para poner en funcionamiento la torre de absorción gaseosa se ha estimado en 1 515 867 800 \$, con plazo de recuperación de la inversión de 11años, por lo que no se acepta la inversión.
7. La evaluación económica de la propuesta de evaluar un nuevo extractor si cumple con los indicadores de la eficiencia de la producción ($R_n=20\%$ año y $CP/P=0.83$). Sin embargo, no se acepta la inversión, pues los indicadores de este parámetro económico están fuera de rango. ($\%R_t= 10.06$, $PRI=10$ años)

Conclusiones

1. Los secadores con que cuenta la fábrica de cola Juan Ripoll no cumplen con su función, pues esta operación describe la misma curva de régimen de secado e igual tiempo de secado, 2.24 meses cuando el tiempo establecido es 12 días, tanto en estos equipos como en una instalación comúnmente ventilada.
2. La evaluación técnica de los extractores con que están provistos los túneles de secado no garantizan el flujo de aire necesario para que el tiempo de secado sea el establecido, pues el flujo gaseoso obtenido mediante el balance de masa resultó mayor que el que se obtuvo por medio de las mediciones de la velocidad del viento. ($F=138\ 747.8$ kg/h y $G_s=171\ 593.9$ kg/h)
3. La evaluación técnica de la alternativa de evitar sobrecargar los secaderos reveló que la máxima cantidad de sólido que pueden esos equipos contener para que se cumpla el tiempo de secado establecido es 1 272.7 kg en cada secadero, para lo cual se debe efectuar un cambio drástico en las condiciones de trabajo de esta etapa de producción.
4. Con la implementación de las tres propuestas se logra disminuir el tiempo de secado hasta el normado, 12 días.
5. La evaluación económica realizada a las propuestas evidenció que solamente cumplen con los indicadores de la eficiencia de la producción las alternativas de distribuir las cargas de sólido en los secadores ($R_n=20\%/año$ y $CP/P=0.83$) y de evaluar un nuevo extractor ($R_n=20\%/año$ y $CP/P=0.83$). Esta última sin embargo no cumple con los indicadores de la eficiencia de la inversión ($\%R_t=10.06\%$ y $PRI=10$ años). Mientras que la propuesta de secar el aire atmosférico no cumple con ninguno de los dos tipos de indicadores. ($R_n=8.31\%/año$, $CP/P=0.91$, $\%R_t=9.092\%$ y $PRI=11$ años)
6. La alternativa más factible técnica y económicamente para mejorar la eficiencia del proceso de secado en la fábrica es evitar sobrecargar los secadores con láminas de cola.

Referencias Bibliográfica

1. Ambrosio-Ugri. M. C. B., Taranto, O. P. Taranto, (2007), Drying in the rotating-pulsed fluidized bed, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 24, No. 01, pp. 95 – 100.
2. Assis. A. J., Lira. T. S., Murata. V. V., Barrozo. M. A. S., (2005), Concurrent drying of soybean seeds: the effect of the radial air profile, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 22, No. 02, pp. 311 – 318.
3. Brizuela, E. (1987). Aspectos fundamentales del diseño de Plantas Industriales. Tomo I. Ciudad de la Habana. Ed. ISPJAE. 345p.
4. Calzetta. A., Aguerre. R. J., Suarez. C., (2005), The drying of amaranth grain: mathematical modeling and simulation, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 22, No. 02, pp. 303 - 309.
5. Carmo. J. E. F., Lima. A. G. B., (2008), Mass transfer inside oblate spheroidal solids: modelling and simulation, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 25, No. 01, pp. 19 – 26.
6. Chemkhi. S., Zagrouba. F., Bellagi. A., (2005), Modelling and simulation of drying phenomena with rheological behavior, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 22, No. 02, pp. 153 – 163.
7. Herman, E., Rodriguez, C., Garcia, M. A. (2001), Mathematical modeling for fixed-bed drying considering heat and mass transfer and interfacial phenomena, Drying Technology, 19, No. 9, p. 2343-2362.
8. Idris, A. *et al.* (2010) Animal Glue Production from Ski Wastes, Editorial Springer. pp 685-697
9. Istadi, I., Sitompul, J. P. (2002), A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying, Drying Technology, 20, No. 6, p. 1123-1142.
10. Izadifar, M., Baik, O-D., Simonson, C. J. (2006), Modeling of the packed bed drying of paddy rice using the local volume averaging (LVA) approach, Food Research International, 39, No. 6, p. 712-720.
11. Oberthür, R, C (2011), Processing and marketing non-meat products from livestock, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim. ISBN 3-527-26211-3

Referencias Bibliográficas

12. Pearson, C.L. (2003), *Animal glues and adhesives*, Segunda edición, Editorial Skeist. New York, p. 140-150
13. Peralta. J. M., Schmalko. M. E. (2007), Modeling heat and mass transfer in the heat treatment step of yerba maté processing, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 24, No. 01, pp. 73 – 82.
14. Peters, M; Timerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for Chemical Engineers*. Four Editions. Ed. Advisory Board. 923p.
15. Quintero. E, Alonso. A, (2007), *Ecología agrícola*, Editorial Félix Varela, La Habana, p 82-88.
16. Rizzi Jr. A. C., Passos. M. L., Freire J. T., (2009), Modeling and imulating the drying of grass seeds (*brachiaria brizantha*) in fluidized beds: evaluation of heat transfer coefficients, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 26, No. 03, pp. 545 – 554.
17. Rodríguez. F, Quintero. A, García. E, Álvarez. M, (2011), *Introducción a la estadística descriptiva*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, p 39-50.
18. Sahin, A.Z., Dincer, I. (2003), Graphical determination of drying process and moisture transfer parameters for solids drying, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45 (2003) 3267–3273 [on line] [consultada 6 de junio 2012] [disponible en www.elsevier.com/locate/ijhmt]
19. Silva. M. G., Lira. T. S., Arruda. E. B., Murata. V. V., Barrozo. M. A. S., (2012), *Modelling of fertilizer drying in a rotary dryer: parametric sensitivity analysis*”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 29, No. 02, pp. 359 – 369.
20. Simon, R. (2010) “Secadores de tambor”, *Drying Technology*, 165-168
21. Sitompul, J. P., Istadi, I., Sumardiono, S. (2003), Modeling and simulation of momentum, heat and mass transfer in a deep-bed grain dryers, *Drying Technology*, 21, No. 2, p. 217-229.
22. Sitompul, J. P., Istadi, I., Widiassa, I. N. (2001), Modeling and simulation of deep-bed grain dryers, *Drying Technology*, 19, No. 2, p. 269-280.
23. Stakić. M., Banjac. M., Urošević. T. (2011), Numerical study on hygroscopic material drying in packed bed, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 02, pp. 273 – 284.

Referencias Bibliográficas

24. StakićM., BanjacM. y UroševićT., (2011), Mumerical study on hygroscopic material drying in packed bed, Brazilian Journalof Chemical Engineering, Vol. 28, No. 02, p. 273 – 284.
25. Treybal, R. E. (1990), *Operaciones con Transferencia de Masa*, Segunda edición. Editorial Mc GRAW-HILL. ISBN: 968-6046-34-8. 865p. [on line].
26. Turton, R. (1998). *Analysis, Synthesis and Desicn of Chemical Processes*. New Jersey Ed Prentice. HALL.. ISBN 0-13-570565-7.
27. Vargas, A.O. (2003), Colas animales,[[www.revistacientificacom/ colanimal](http://www.revistacientificacom/colanimal)]. [cosultada 7 de junio 2012]
28. Zeigler,A.H., (1998,) Methodo for drying animal glue, al Patente No. 2,825,094.

Anexos

Anexo 1: Método propuesto por la patente No 2,825,094 (1998) para el secado de cola animal.

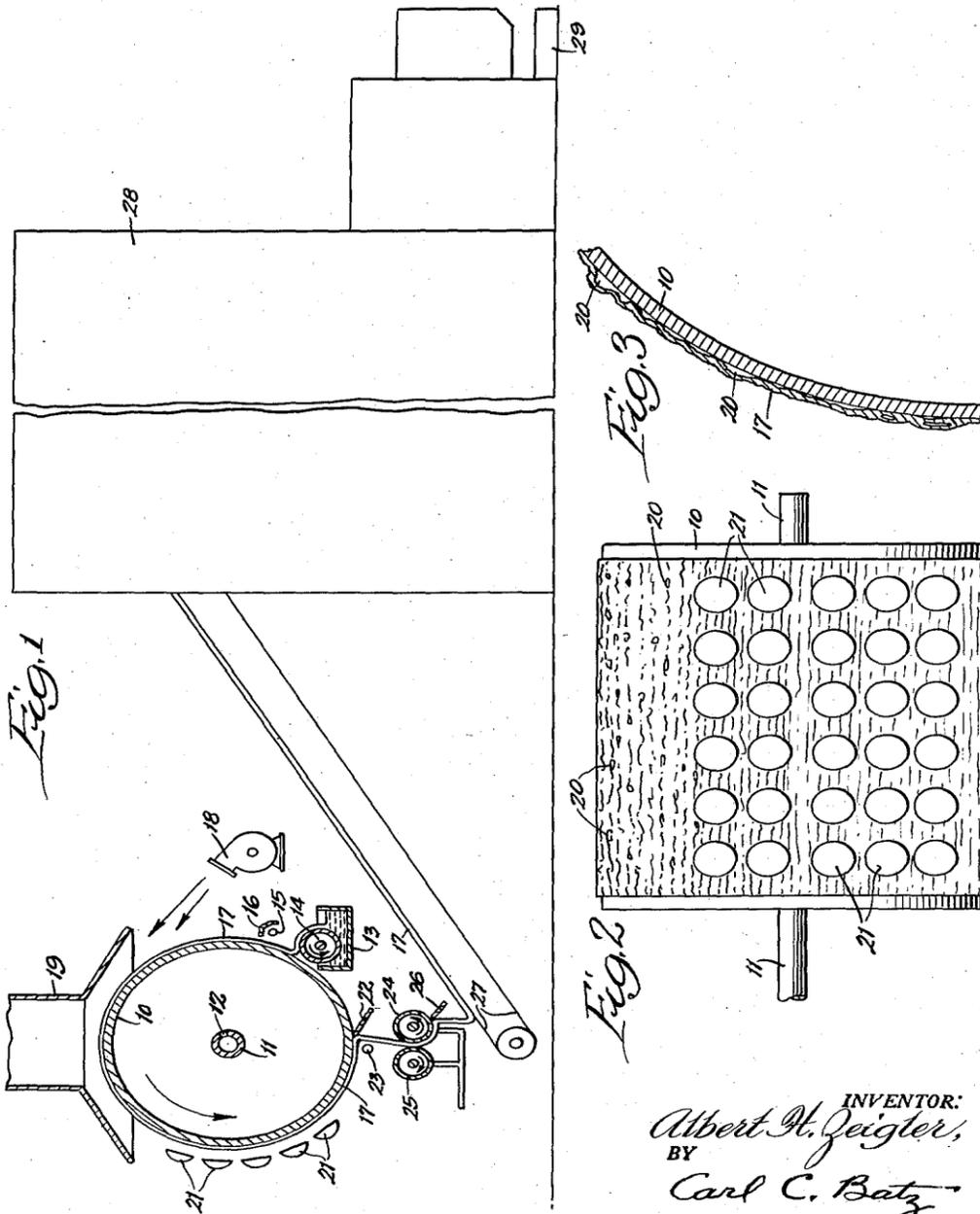
March 4, 1958

A. H. ZEIGLER

2,825,094

METHOD FOR DRYING ANIMAL GLUE

Filed June 25, 1954



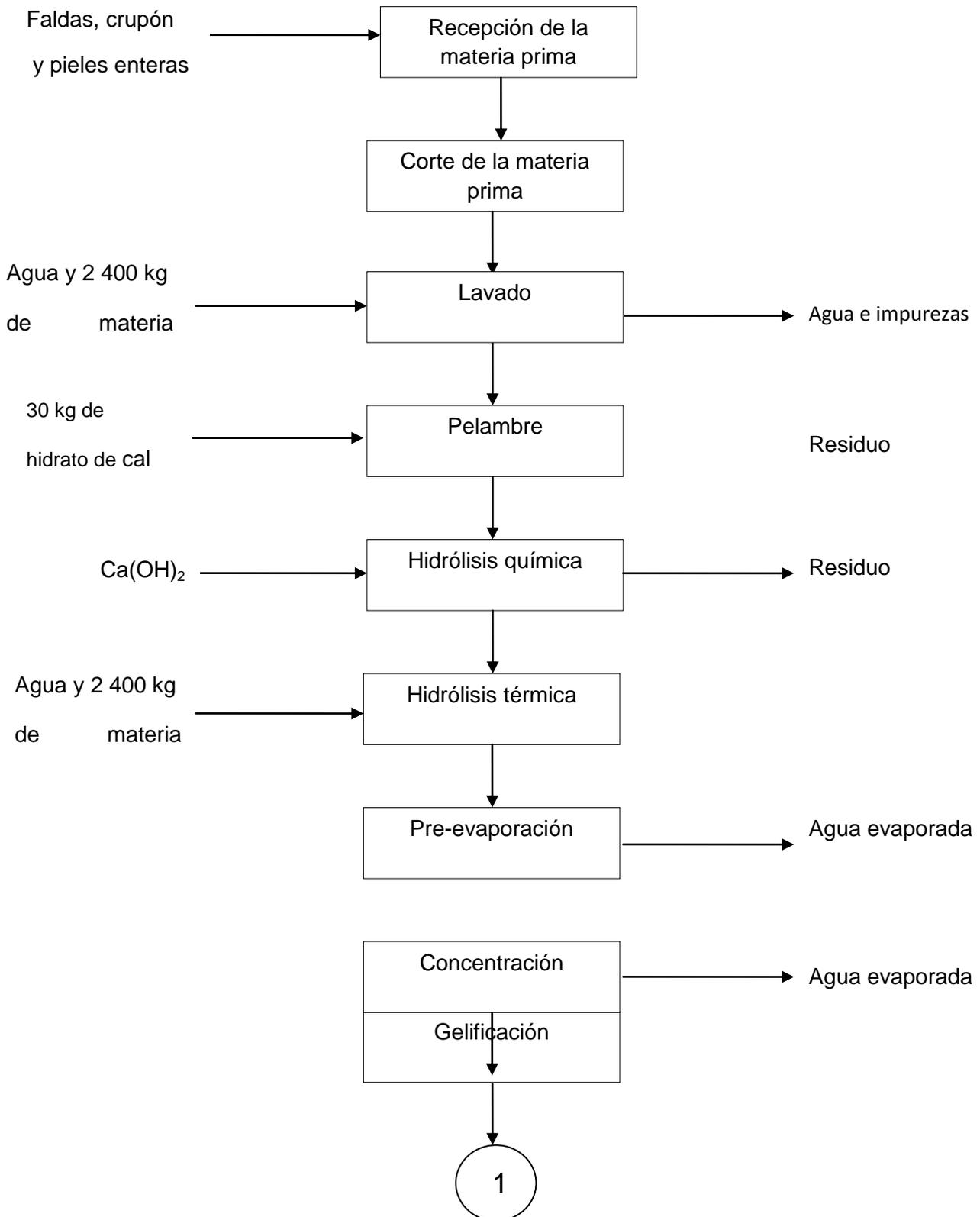
INVENTOR:
Albert H. Zeigler,
BY
Carl C. Batz
ATTORNEY.

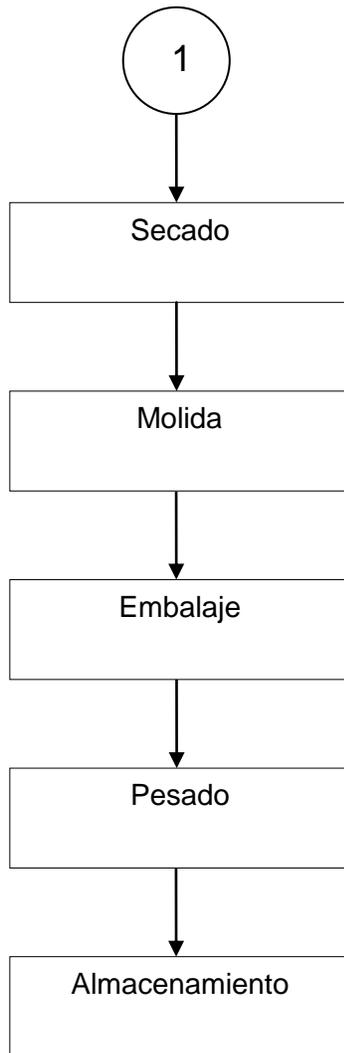
Leyenda:

- 10-Tambor
- 11-Eje del tambor
- 12-Entrada de la corriente que suministra el calor en el interior del tambor
- 13-Recipiente de almacenamiento de la cola
- 14-Rodillo
- 15-Tubería de salida del aire comprimido
- 16-Baffles
- 17-Lámina de cola
- 18-Soplador
- 19-Campana de ventilación
- 20-Burbujas y ampollas formadas por la retención del vapor de agua entre la lámina de cola y la pared del tambor
- 21-Lámparas infra-rojas
- 22 y 26-Cuchilo
- 23-Tubería perforada por donde sale el aire fresco
- 24 y 25-Rodillos exfoliadores
- 27-Cinta transportadora
- 28-Túnel de secado
- 29-Rampa de salida de la cola

Anexos

Anexo 2: Diagrama de flujo.





Anexos

Anexo 3: Prueba de secado. Secador 1. Punto 1.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de hdad	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.620	0.130	0.265	0.572	0.123	0.275	0.561	0.117	0.262
15 de junio	3	0.565	0.075	0.152	0.515	0.066	0.147	0.510	0.066	0.149
18 de junio	6	0.543	0.053	0.108	0.495	0.046	0.103	0.491	0.046	0.104
22 de junio	10	0.526	0.035	0.072	0.477	0.029	0.064	0.474	0.030	0.067
25 de junio	13	0.526	0.035	0.072	0.477	0.029	0.064	0.473	0.029	0.064
27 de junio	15	0.517	0.026	0.054	0.471	0.022	0.049	0.466	0.022	0.050
2 de julio	20	0.502	0.011	0.022	0.458	0.009	0.020	0.453	0.009	0.020
6 de julio	24	0.495	0.004	0.009	0.451	0.002	-	0.451	0.007	-
9 de julio	27	0.491	0.000	0.000	0.449	0.000	0.000	0.444	0.000	0.000

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de hdad	X (lb hdad/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de hdad	X (lb hdad/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.605	0.130	0.273	0.647	0.134	0.262
15 de junio	3	0.551	0.076	0.160	0.583	0.070	0.137
18 de junio	6	0.528	0.053	0.111	0.563	0.051	0.099
22 de junio	10	0.508	0.033	0.069	0.546	0.033	0.064
25 de junio	13	0.506	0.031	0.065	0.543	0.031	0.060
27 de junio	15	0.502	0.026	0.056	0.539	0.026	0.052
2 de julio	20	0.488	0.013	-	0.521	0.009	0.017
6 de julio	24	0.482	0.007	-	0.517	0.004	0.009
9 de julio	27	0.475	0.000	0.000	0.513	0.000	0.000

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 4: Prueba de secado. Secador 1. Punto 2.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.790	0.158	0.251	0.682	0.145	0.270	0.678	0.145	0.273
15 de junio	3	0.741	0.110	0.174	0.645	0.108	0.201	0.629	0.097	0.182
18 de junio	6	0.702	0.070	0.111	0.600	0.063	0.118	0.592	0.059	0.112
22 de junio	10	0.675	0.044	0.070	0.574	0.037	0.070	0.572	0.040	0.074
25 de junio	13	0.675	0.044	0.070	0.574	0.037	0.070	0.568	0.035	0.066
27 de junio	15	0.664	0.033	0.052	0.565	0.029	0.053	0.561	0.029	0.054
2 de julio	20	0.645	0.013	0.021	0.546	0.009	-	0.543	0.011	0.021
6 de julio	24	0.640	0.009	0.014	0.552	0.015	-	0.539	0.007	0.012
9 de julio	27	0.631	0.000	0.000	0.537	0.000	0.000	0.532	0.000	0.000

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.801	0.174	0.277	0.759	0.163	0.273
15 de junio	3	0.748	0.121	0.193	0.697	0.101	0.170
18 de junio	6	0.705	0.078	0.125	0.661	0.065	0.109
22 de junio	10	0.680	0.053	0.084	0.640	0.044	0.074
25 de junio	13	0.671	0.044	0.070	0.634	0.037	0.063
27 de junio	15	0.660	0.033	0.053	0.627	0.031	0.052
2 de julio	20	0.642	-	0.025	0.607	0.011	0.018
6 de julio	24	0.636	0.009	0.014	0.614	0.018	-
9 de julio	27	0.627	0.000	0.000	0.596	0.000	0.000

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 5: Prueba de secado. Secador 1. Punto 3.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.722	0.161	0.286	0.684	0.147	0.275	0.735	0.156	0.270
15 de junio	3	0.656	0.095	0.169	0.623	0.086	0.102	0.669	0.090	0.156
18 de junio	6	0.625	0.064	0.114	0.592	0.055	0.074	0.636	0.057	0.099
22 de junio	10	0.596	0.035	0.063	0.576	0.040		0.618	0.040	0.068
25 de junio	13	0.603	0.042	0.075	0.572	0.035	0.066	0.616	0.037	0.065
27 de junio	15	0.596	0.035	0.063	0.565	0.029	0.053	0.605	0.026	0.046
2 de julio	20	0.579	0.018	-	0.548	0.011	0.020	0.590	0.011	0.019
6 de julio	24	0.565	0.004	-	0.539	0.002	0.004	0.581	0.002	0.004
9 de julio	27	0.561	0.000	0.000	0.537	0.000	0.000	0.579	0.000	0.000

Fecha	Día	X (lb agua/lbsólido seco)	Muestra 4			Muestra 5		
			Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.270	0.713	0.152	0.271	0.664	0.145	0.280
15 de junio	3	0.156	0.645	0.084	0.149	0.598	0.079	0.153
18 de junio	6	0.099	0.617	0.056	0.100	0.794	0.275	-
22 de junio	10	0.068	0.601	0.040	0.071	0.557	0.037	0.072
25 de junio	13	0.065	0.601	0.040	0.071	0.557	0.037	0.072
27 de junio	15	0.046	0.590	0.029	0.051	0.548	0.029	0.055
2 de julio	20	0.019	0.574	-	0.024	0.532	0.013	-
6 de julio	24	0.004	0.565	-	0.008	0.526	0.007	-
9 de julio	27	0.000	0.561	0.000	0.000	0.519	0.000	0.000

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 6: Prueba de secado. Secador 2. Punto 1.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.558	0.116	0.2636	0.591	0.123	0.262	0.591	0.118	0.251
15 de junio	3	0.488	0.046	0.104	0.517	0.048	0.103	0.523	0.050	0.106
18 de junio	6	0.470	0.028	0.064	0.501	0.033	0.070	0.506	0.033	0.069
22 de junio	10	0.479	0.037	0.084	0.508	0.039	0.084	0.512	0.039	0.083
25 de junio	13	0.484	0.041	0.094	0.514	0.046	0.098	0.519	0.046	0.097
27 de junio	15	0.473	0.030	0.069	0.501	0.033	0.070	0.506	0.033	0.069
2 de julio	20	0.446	0.004	-	0.475	0.006	0.014	0.479	0.006	0.013
6 de julio	24	0.442	0	0	0.536	0.068	-	0.475	0.002	-
9 de julio	27	0.442	0	0	0.468	0	0	0.473	0	0

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.605	0.121	0.25	0.635	0.129	0.256
15 de junio	3	0.536	0.052	0.109	0.562	0.056	0.110
18 de junio	6	0.519	0.035	0.072	0.543	0.037	0.073
22 de junio	10	0.521	0.037	0.077	0.545	0.039	0.078
25 de junio	13	0.530	0.046	0.095	0.55	0.044	0.086
27 de junio	15	0.517	0.033	0.068	0.539	0.033	0.065
2 de julio	20	0.490	0.006	0.013	0.512	0.006	0.013
6 de julio	24	0.484	0	0	0.506	0	0
9 de julio	27	0.484	0	0	0.506	0	0

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 7: Prueba de secado. Secador 2. Punto 2.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.787	0.156	0.247	0.679	0.140	0.261	0.706	0.145	0.258
15 de junio	3	0.708	0.077	0.121	0.600	0.061	0.114	0.632	0.071	0.127
18 de junio	6	0.679	0.048	0.076	0.578	0.039	0.073	0.605	0.044	0.078
22 de junio	10	0.671	0.039	0.062	0.574	0.035	0.065	0.598	0.037	0.066
25 de junio	13	0.675	0.044	-	0.583	0.044	-	0.602	0.041	0.074
27 de junio	15	0.664	0.033	0.052	0.567	0.028	0.0534	0.591	0.030	0.054
2 de julio	20	0.640	0.008	0.013	0.545	0.006	0.012	0.567	0.006	0.011
6 de julio	24	0.631	0	-	0.541	0.002	0.004	0.561	0	-
9 de julio	27	0.631	0	0	0.539	0	0	0.561	0	0

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.732	0.147	0.251	0.695	0.1826	0.356
15 de junio	3	0.657	0.072	0.124	0.628	0.1155	-
18 de junio	6	0.631	0.046	0.078	0.602	0.0902	-
22 de junio	10	0.622	0.037	0.063	0.594	0.0814	-
25 de junio	13	0.629	0.044	0.075	0.596	0.0836	-
27 de junio	15	0.616	0.030	0.052	0.585	0.0726	-
2 de julio	20	0.594	0.008	-	0.565	0.0528	-
6 de julio	24	0.587	-	0.003	0.558	0.0462	-
9 de julio	27	0.585	0	0	0.512	0	0

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 8: Prueba de secado. Secador 2. Punto 3.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.800	0.160	0.250	0.721	0.11	-	0.723	0.147	0.255
15 de junio	3	0.719	0.079	0.123	0.653	0.041	-	0.66	0.083	0.145
18 de junio	6	0.690	0.050	0.079	0.620	0.008	-	0.629	0.052	0.091
22 de junio	10	0.677	0.037	0.058	0.609	- 0.002	-	0.616	0.039	0.068
25 de junio	13	0.682	0.041	0.065	0.613	0.002	-	0.622	0.046	0.080
27 de junio	15	0.671	0.030	0.048	0.602	- 0.008	-	0.611	0.035	0.061
2 de julio	20	0.642	0.002	-	0.578	- 0.033	-	0.583	0.006	-
6 de julio	24	0.633	- 0.006	-	0.569	- 0.041	-	0.578	0.002	-
9 de julio	27	0.640	0	0	0.611	0	0	0.576	0	0

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.77	0.200	-	0.805	0.171	0.270
15 de junio	3	0.691	0.122	-	0.728	0.094	0.149
18 de junio	6	0.664	0.094	-	0.697	0.063	0.100
22 de junio	10	0.653	0.083	-	0.682	0.048	0.076
25 de junio	13	0.655	0.085	-	0.686	0.052	0.083
27 de junio	15	0.644	0.074	-	0.675	0.041	0.065
2 de julio	20	0.618	0.048	-	0.649	0.015	-
6 de julio	24	0.611	0.041	-	0.642	0.008	-
9 de julio	27	0.569	0	0	0.633	0	0

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 9: Prueba de secado. Laboratorio. Punto 1.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.627	0.118	0.233	0.618	0.121	0.243	0.629	0.116	0.227
15 de junio	3	0.559	0.051	0.101	0.553	0.056	0.112	0.563	0.050	0.098
18 de junio	6	0.530	0.022	0.043	0.523	0.026	0.053	0.534	0.022	0.042
22 de junio	10	0.530	0.022	0.043	0.519	0.022	0.044	0.533	0.020	0.040
25 de junio	13	0.536	0.028	0.056	0.523	0.026	0.053	0.539	0.026	0.051
27 de junio	15	0.528	0.019	0.038	0.517	0.019	0.039	0.532	0.019	0.038
2 de julio	20	0.519	0.011	0.021	0.508	0.011	0.022	0.521	0.008	-
6 de julio	24	0.512	0.004	0.008	0.501	0.004	0.008	0.514	0.002	0.004
9 de julio	27	0.508	0	0	0.497	0	0	0.512	0	0

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.585	0.112	0.237	0.651	0.123	0.233
15 de junio	3	0.519	0.046	0.097	0.585	0.057	0.108
18 de junio	6	0.495	0.022	0.046	0.554	0.026	0.05
22 de junio	10	0.495	0.022	0.046	0.552	0.024	0.045
25 de junio	13	0.501	0.028	0.060	0.558	0.030	0.058
27 de junio	15	0.495	0.022	0.046	0.552	0.024	0.045
2 de julio	20	0.486	0.013	-	0.541	0.013	-
6 de julio	24	0.481	0.008	-	0.536	0.008	-
9 de julio	27	0.473	0	0	0.528	0	0

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 10: Prueba de secado. Laboratorio. Punto 2.

Fecha	Día	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.693	0.129	0.230	0.697	0.136	0.243	0.671	0.125	0.229
15 de junio	3	0.622	0.059	0.105	0.623	0.062	0.111	0.607	0.061	0.112
18 de junio	6	0.589	0.026	0.046	0.591	0.030	0.054	0.576	0.030	0.056
22 de junio	10	0.596	0.033	0.058	0.594	0.033	0.058	0.578	0.033	0.060
25 de junio	13	0.598	0.035	0.062	0.596	0.035	0.062	0.580	0.035	0.064
27 de junio	15	0.589	0.026	0.046	0.589	0.028	0.050	0.574	0.028	0.052
2 de julio	20	0.574	0.011	0.019	0.574	0.013	0.023	0.558	0.013	0.024
6 de julio	24	0.569	0.006	0.011	0.567	0.006	0.011	0.55	0.004	0.008
9 de julio	27	0.563	0	0	0.561	0	0	0.545	0	0

Fecha	Día	Muestra 4			Muestra 5		
		Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)	Peso inicial (lb)	lb de agua	X (lb agua/lbsólido seco)
13 de junio	1	0.77	0.143	0.228	0.666	0.123	0.226
15 de junio	3	0.704	0.077	0.122	0.594	0.050	0.093
18 de junio	6	0.666	0.039	0.063	0.566	0.023	0.042
22 de junio	10	0.664	0.037	0.059	0.574	0.030	0.056
25 de junio	13	0.666	0.039	0.063	0.578	0.035	0.064
27 de junio	15	0.657	0.030	0.049	0.572	0.028	0.052
2 de julio	20	0.642	0.015	0.024	0.556	0.013	0.024
6 de julio	24	0.633	0.006	0.010	0.55	0.006	0.012
9 de julio	27	0.627	0	0	0.543	0	0

Nota: Los valores de X que no aparecen en la tabla es que se han omitidos para el análisis estadístico por estar fuera de rango

Anexos

Anexo 11: Comportamiento de los valores medio de la temperatura media (°C) durante los años 2000 -2010.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	20.7	20.6	22.6	24.3	25.5	25.8	26.4	26.2	25.6	24.7	22.8	21.3
2001	22.6	21.7	23	25.4	25.8	28	27.4	25	24.8	24.6	22.8	22.7
2002	19.8	19.6	24	25.6	26.6	24.5	27	26.6	26.4	23.5	19.8	20.8
2003	20.1	20.2	22.8	24.9	26.4	24.9	26	25.9	26.6	23.8	22	21.5
2004	19.9	21.2	19.8	22.6	24.8	25.4	26.6	26.9	25.8	25.7	23.8	20.8
2005	19.8	19.7	23.8	25.7	24.3	25.8	25.8	26.7	24.6	25.7	24	19.8
2006	21.2	20.5	22	22.8	26.8	26.5	26.2	25.5	26.8	25.6	23.5	22.6
2007	20.8	21	24.1	23.5	23.9	24.2	25	25.4	23.9	24.9	23.6	19.9
2008	22.4	21.4	19.9	24.6	24.9	25.7	26	26.5	24.9	23.8	20.9	21.6
2009	18.8	19.9	23.6	22.9	25.5	26.8	27	27	25.7	23.9	24.1	20.9
media	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
coef.var	5.811	3.562	6.981	4.960	3.847	4.397	2.656	2.635	3.712	3.451	6.301	4.594
desv.est	1.136	0.696	1.494	1.140	0.929	1.075	0.664	0.655	0.898	0.806	1.359	0.924

Anexo 12: Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa (%) durante los años 2000 -2010.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
2001	79	74	74	74	77	84	79	83	83	84	82	78
2002	78	76	74	72	78	83	80	81	83	83	81	80
2003	79	74	75	74	79	82	83	83	84	84	82	79
2004	77	75	73	73	77	82	81	83	85	85	81	78
2005	78	75	74	73	78	84	82	82	83	83	83	80
2006	78	76	75	72	79	83	81	81	84	83	80	80
2007	78	75	73	74	79	83	82	82	84	85	79	78
2008	76	74	73	72	78	82	81	81	85	85	80	79
2009	79	76	75	73	77	84	80	82	85	84	81	79
Media	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
coef.var	1.209	1.089	1.103	1.118	1.047	0.984	1.425	0.996	0.972	0.972	1.425	1.034
desv.est	0.945	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	1.155	0.816	0.816	0.816	1.155	0.816

Anexo 13: Metodología para implementar en HYSYS Process versión 2.2 el diseño de la columna de absorción.

Abrir HYSYS y un nuevo caso (*File/New/Case* ())

1. Entrar la termodinámica (*SimulationBasis Manager/Fluid Pkg/Add.../PropPkg*). Para este caso debe seleccionarse NTRL.
2. Entrar los componentes (*Fluid Pkgs/Components*). Los componentes son: *air*, *water* y *H₂SO₄* (ácido sulfúrico).
3. Entrar en el ambiente de simulación (*SimulationBasisManager / Enter Simulation Environment...*)
4. Seleccionar en la barra de equipos la columna de absorción (*Absorber* ) y arrastarlo hasta la ventana.
5. Entrar con doble clic a la columna (*Absorber Column Input Expert*) y nombrar las corrientes. Se recomiendan los siguientes nombres:
 - *Top StageInlet: Solvent in*
 - *BottomStageInlet: Gases in*
 - *OvhdVapourOulted: Gases out*
 - *BottomLiquidOutlet: Liquidout*

Nota: Una vez nombradas las corrientes se activará el botón *Next...*

6. Presionar el botón *Next* de la propia ventana (*Absorber Column Input Expert/Next...*) para entrar la presión de trabajo de la torre (1 atm.). Cerrar la ventana.
7. Definir la corriente de solvente (*PFD Case Main/ Solvent in*) y de entrada del gas (*PFD Case Main/ Gases in*), en cuanto a temperatura, presión, flujo molar y componentes.
8. Ejecutar la simulación: Para ejecutar la simulación debe hacerse doble clic sobre la columna y presionar el botón *Run* (*Design/ Run*). El indicador debe pasar de rojo a verde si se han realizado los pasos anteriores (*Unconverged a Converged*).

Anexos

Anexo 14: Metodología para cambiar los platos por empaques.

1. Cambiar platos por empaques. (*Tools/ Utilities*). Seleccionar *TraySizing* y adicionar esta utilidad (*AddUtilities*)
2. Nombrar la utilidad (*TraySizing/Name*). Se recomienda el siguiente nombre: *Packing*. Presionar el botón *Select TS*. Marcar la columna T-100 y el objeto TS-1. Presionar el botón *OK*.
3. Al retornar a la ventana *TraySizing*, presionar el botón *Auto Section* para seleccionar los empaques como elementos internos de la columna.
4. Seleccionar el tipo de empaque (*Packing Type*): *Rashing Ring (ceramic)3inch*. Presionar el botón *Next*.
5. Cerrar la ventana para regresar a ejecutar nuevamente la simulación. Para ejecutar la simulación debe hacerse doble clic sobre la columna y presionar el botón *Run (Design/ Run)*.

Anexo15: Diseño de la columna de absorción en HYSYS.

