

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

Aumento de la eficiencia de calcinación de
bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida, en
una industria farmacéutica.

Mónica Melissa Mazariegos Soto

Guatemala
2007

Aumento de la eficiencia de calcinación de bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida, en una industria farmacéutica.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

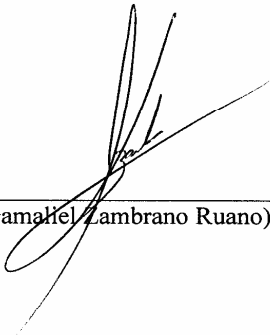
Facultad de Ingeniería

Aumento de la eficiencia de calcinación de bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida, en una industria farmacéutica.

Trabajo de investigación presentado por Mónica Melissa Mazariegos Soto para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

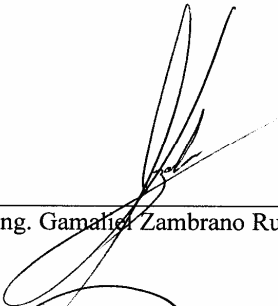
Guatemala
2007

Vo.Bo.:

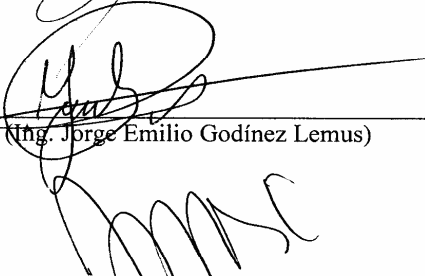
(f) 

(Ing. Gamaliel Zambrano Ruano)

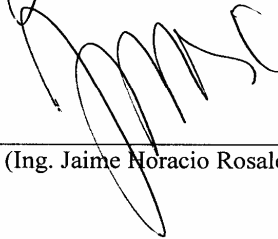
Tribunal:

(f) 

(Ing. Gamaliel Zambrano Ruano)

(f) 

(Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus)

(f) 

(Ing. Jaime Noracio Rosales)

Fecha de aprobación: 30 de julio 2007

DEDICO ESTE ESFUERZO:

A Dios

A la Virgen María

A mis padres

A mi familia

A mis amigos

A mis compañeros

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| Prefacio | iv |
| Índice de figuras y gráficos | viii |
| Índice de tablas | ix |
| Resumen | x |
| Abstract | xi |
| | |
| I. Introducción | 1 |
| II. Antecedentes | 2 |
| A. Cama de lecho fluido | 2 |
| 1. Comportamiento general | 3 |
| 2. Fluidización | 3 |
| 3. Efecto de la velocidad de fluidización en el gradiente de presión | 5 |
| B. Secado | 7 |
| 1. Parámetros que involucra el secado | 7 |
| 2. Clasificación de secadores | 8 |
| III. Justificación | 9 |
| IV. Objetivos | 10 |
| A. Objetivo general | 10 |
| B. Objetivos específicos | 10 |
| V. Problema a resolver | 11 |
| VI. Metodología | 12 |
| VII. Resultados | 13 |
| A. Descripción de filtros | 13 |
| B. Pruebas | 13 |
| C. Análisis económico | 16 |
| VIII. Discusión | 18 |
| IX. Conclusiones | 21 |

| | | |
|------|--|----|
| X. | Recomendaciones | 22 |
| XI. | Bibliografía | 23 |
| XII. | Anexos | 24 |
| A. | Diagrama de operación | 24 |
| B. | Descripción de equipo | 25 |
| C. | Datos obtenidos | 25 |
| 1. | Filtro original | 27 |
| 2. | Filtro A | 30 |
| 3. | Filtro B | 34 |
| 4. | Análisis económico | 35 |
| D. | Datos calculados | 36 |
| E. | Cálculo de muestra | 42 |
| 1. | Cálculo de filtros | 42 |
| 2. | Consumo de diesel para el horno de cama fluida | 44 |
| 3. | Energía | 45 |
| 4. | Agua | 46 |
| 5. | Bicarbonato de Sodio | 46 |
| 6. | Tamaño de partícula | 47 |
| F. | Glosario | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

| Figura | Título | Página |
|---------|---|--------|
| 1 | Cama de lecho fluido | 2 |
| 2 | Razón entre volumen de burbuja y volumen de su estela | 4 |
| 3 | Caída de presión vrs. cama fluida y fija | 5 |
| 4 | Fases de temperatura de secado | 6 |
| 5 | Diagrama de operación | 24 |
| 6 | Plano filtro original | 37 |
| 7 | Plano filtro B | 38 |
| Gráfico | | |
| 1 | Pruebas vrs. % carbonatación | 14 |
| 2 | No. prueba vrs. carga | 14 |
| 3 | No. prueba vrs. tiempo total de operación | 15 |
| 4 | No. de prueba vrs. tiempo de carbonatación | 15 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Título | Página |
|-------|---|--------|
| 1 | Diseño de filtros | 13 |
| 2 | Resultados del proceso con filtro original, A, B y C | 13 |
| 3 | Flujo de caja si no se realiza el reemplazo | 16 |
| 4 | Flujo de caja con el reemplazo | 16 |
| 5 | Flujos diferenciales | 16 |
| 6 | Resultados análisis económico | 17 |
| 7 | Medidas filtro original | 25 |
| 8 | VARIABLES a tomar en cuenta | 26 |
| 9 | Datos obtenidos con pruebas del filtro original | 27 |
| 10 | Datos obtenidos en pruebas de filtro A | 30 |
| 11 | Datos obtenidos en pruebas con filtro B | 34 |
| 12 | Datos de caldera | 35 |
| 13 | Datos de horno de cama fluida | 36 |
| 14 | Datos calculados para el 2006 | 36 |
| 15 | Filtro original | 36 |
| 16 | Filtro A | 39 |
| 17 | Filtro B | 39 |
| 18 | Filtro C | 39 |
| 19 | Aumento de área según el número de mangas y diámetro (%) | 40 |
| 20 | Análisis sin reemplazo | 41 |
| 21 | Análisis con reemplazo | 41 |
| 22 | Inversión | 41 |
| 23 | Tasa (%) | 41 |
| 24 | Especificaciones bicarbonato de sodio | 47 |
| 25 | Tamaño de partícula para diferentes lotes de bicarbonato de sodio | 47 |

RESUMEN

En este trabajo se presenta el aumento de la eficiencia de un horno de cama fluida que se utiliza para calcinar y carbonatar el bicarbonato de sodio. Se diseñaron tres filtros con mayor área que el filtro original y se realizaron pruebas para ver la influencia de este factor en la fluidización. También se varió el diámetro y forma de las mangas. Se observó que una mejor fluidización disminuyó los tiempos de operación, tal como sucedió con el filtro A (33 mangas rectas con diámetro de 21 cm), con este filtro se aumentó el área de filtrado en 40%, el tiempo de carbonatación llegó a 23 minutos, con un tiempo total de operación de 48.4 minutos, el porcentaje de bicarbonato de sodio se mantuvo en 85.7% y se perdieron 2 kg menos de bicarbonato de sodio carbonatado. Los filtros B (47 mangas cónicas con diámetro de 18 cm) y C (47 mangas rectas con diámetro de 18 cm) con un aumento de área de 21% y 70% respectivamente, acumularon bicarbonato en las mangas debido a que el diámetro era menor, lo que impidió la libre fluidización.

Se realizó un análisis económico que determinó la rentabilidad del reemplazo de filtros. Los indicadores del análisis económico lo constituyeron la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). Se obtuvo una TIR de 598% y una VAN de Q 153.514. Estos valores muestran que el reemplazo de filtro es rentable y factible para llevarlo a cabo en la industria farmacéutica.

ABSTRACT

The present work shows how to increase the efficiency of a fluidize bed dryer use to calcine sodium bicarbonate. Three different filters were design with an increase in the filtration area and then tests were made to determine the influence of this factor in the fluidization. The diameter and shape of the sleeves was also modified. It was observed that a fluidization free from obstacles decreases the operational time, this happened with filter A (33 straight sleeves with 21 cm of diameter), with this filter the filtration area increase in 40%, the calcination time was reduce to 23 minutes, with a total operational time of 48.4 minutes, the sodium bicarbonate percentage was maintain in 85.7% and there were lost 2 pounds less of the carbonated sodium bicarbonate. Filters B (47 conic sleeves with 18 cm of diameter) and filter C (47 straight sleeves with 18 cm of diameter) with an increased area of 21% and 70% each one, both gather sodium bicarbonate in the sleeves because the diameter was smaller, and this prevent fluidization to be free of obstacles.

An economic analysis was made to determine the profitability of replacing the filters. The economic analysis indicators are constituted by the internal rate of return (IRR) and the net present value (NPV). The results show a IRR of 598% and a NPV of Q153,514. This value proves that the replacement of the filters is rentable and profitable so this proyect will be able to carry out in the pharmaceutical industry.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de los farmacéuticos efervescentes, en Guatemala, está liderada por una empresa en particular, lo que permite su propio y exclusivo desenvolvimiento comercial debido a su alto nivel de producción y popularidad. El principal componente de los efervescentes es el bicarbonato de sodio, éste necesita cierto porcentaje de humedad para que no reaccione ante la humedad del ambiente y de las diferentes condiciones a las que el producto es expuesto previo a su consumo. La calcinación del bicarbonato de sodio asegura la calidad y conservación del producto, para lograr la calcinación se utiliza un horno de cama fluida. La calcinación se conoce, en el ámbito farmacéutico, como el proceso de elevar la temperatura del bicarbonato de sodio de manera que éste se carbonate.

Este trabajo tiene por objeto aumentar la eficiencia de calcinación del bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida en una industria farmacéutica en Guatemala. Para aumentar la eficiencia, se tomará en cuenta las variables necesarias, como carga del horno, tiempo de calcinación, área de filtrado y material del filtro. De esta manera se podrá obtener un valor de inversión, costos y gastos de operación, así como la rentabilidad del proyecto.

II. ANTECEDENTES

A. Cama de lecho fluido:

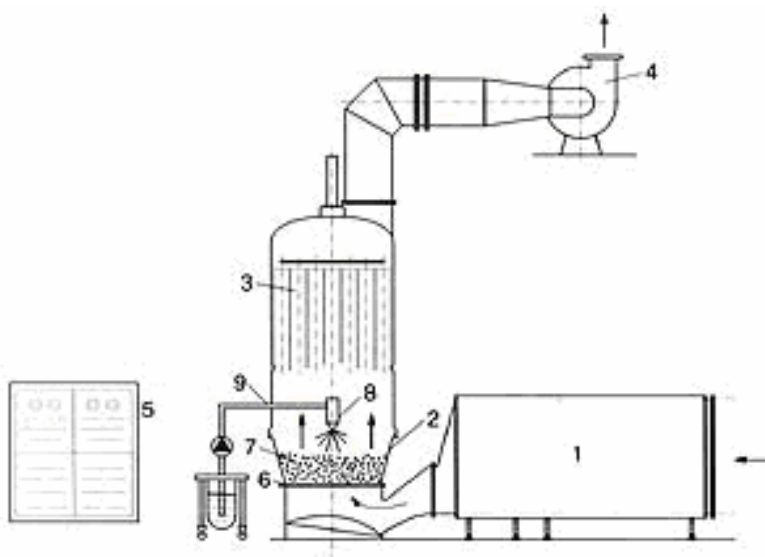
El principio básico de cama fluida es que el aire (o cualquier otro gas o líquido) que pasa a través de una cama de partículas a una velocidad suficientemente alta como para suspender las partículas en el fluido. En tal estado, la cama parece que esta ebullendo, y que tiene las propiedades de un líquido. El vigoroso y turbulento mezclado de la cama proporciona una transferencia de calor excelente entre partícula-partícula y partícula-fluido. La suspensión y movimiento de las partículas en el aire maximiza la exposición del área de las partículas al aire o al gas, produciendo una evaporación eficiente. Regularmente el gas es distribuido por medio de orificios pequeños, que mantienen el material a un rango suficientemente alto para causar la fluidización de las partículas.

El paso de un fluido por una cama compuesta de partículas estacionarias es muy común en la industria química, por lo que se necesita de expresiones que predigan la caída de la presión debida a la resistencia causada por la presencia de las diferentes partículas. Para entender y manipular el proceso en una cama de lecho fluido es importante aprender como es generado, acondicionado y distribuido el flujo de aire en la cama durante el secado.

A continuación se muestran los componentes básicos de un sistema de cama fluida:

Figura 1
Cama de lecho fluido

1 = Acondicionador de aire, 2 = contenedor, 3 = filtro, 4 = escape de gases, 5 = panel de control, 6 = distribuidor de aire, 7 = producto, 8 = rociador, 9 = transportador de solución.



1. Comportamiento general: El hecho de que las fuerzas hidrodinámicas sean muy pequeñas en comparación con las fuerzas de fricción entre partículas, las fuerzas electrostáticas y las fuerzas de superficie, hace que los sistemas gas-sólidos sean muy complicados. A medida que la velocidad del gas en la cama fluida va aumentando, el sistema tiende a pasar por varias etapas:

- a. Cama fija: Las partículas están en contacto unas con otras y la estructura de la cama se mantiene estable hasta que la velocidad se aumente hasta el punto en el que la caída de presión sea igual al peso por unidad de área de las partículas.
- b. Expansión: Se tiene una expansión regular y predecible sobre un rango limitado de velocidades del gas.
- c. Región burbujeante: Región en la que una gran proporción del gas pasa a través de la cama en forma de burbujas que causan la mezcla rápida en la fase densa de las partículas.
- d. Región turbulenta: En esta fase las burbujas se destruyen y pierden su identidad.
- e. Transporte vertical hacia arriba de las partículas: La fluidización es rápida y es por transporte neumático.

La tecnología de cama de lecho fluido se está desarrollando actualmente para:

- § Disminuir costos y capital de inversión
- § Obtener un control más eficiente y barato de las emisiones.
- § Mejorar la flexibilidad de operación, para permitir una respuesta eficiente a variación de la carga, según sea la demanda.

2. Fluidización. Al pasar un fluido desde abajo a través de una cama de sólidos, no existe movimiento relativo entre las partículas, a menos que la orientación inicial de las partículas sea inestable y que la presión del fluido transitante disminuya a través de la cama directamente proporcional a la razón de flujo.

Cuando un fluido pasa hacia arriba de una cama, la caída de presión es la misma que si el flujo fuera hacia abajo a una razón mas baja. La fuerza de fricción de las partículas será igual a su peso aparente, ese es el peso real menos la fuerza buoyancy, las partículas se rearreglan y ofrecen menos resistencia al flujo del fluido y la cama empieza a expandirse con un aumento en el volumen de separación de las partículas. Este proceso continua con el aumento de la velocidad, manteniendo la fuerza de fricción total igual al peso de las partículas, hasta que la cama asuma sus perdidas estables de la forma del empaque. Si la velocidad aumenta aun más, las partículas individuales se separan unas de otras y flotan libremente en el fluido. En esta etapa, la cama se describe como fluidizada. Un mayor aumento en la velocidad resulta en una separación aún mayor de las partículas, pero la diferencia en la presión se mantiene aproximadamente igual

al peso por unidad de área de la cama. Sin embargo en un gas se obtiene fluidización uniforme solo a velocidades bajas.

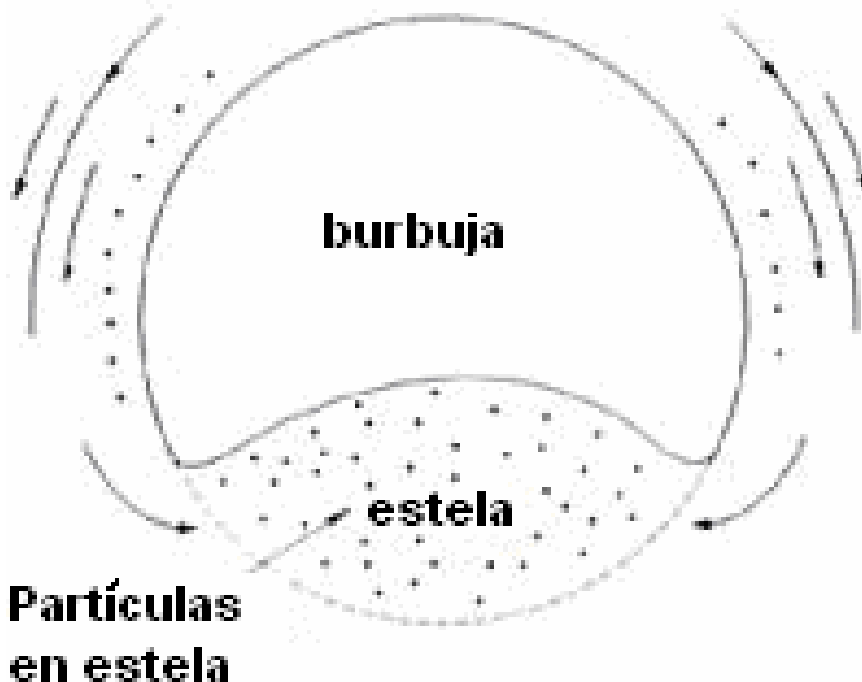
Una muy buena mezcla ocurre dentro de la cama y la razón de transferencia de calor es muy alta como resultado de obtener una rápida uniformidad de la temperatura. La fluidización debe ser de buena calidad, esto quiere decir que la cama debe ser libre de toda irregularidad y canalización. El fluido debe estar distribuido equitativamente en el fondo de la cama. En los últimos años se ha reconocido que las burbujas se forman en tales sistemas y que ejercen importante influencia en el patrón de fluidización de ambos gas y líquido.

El movimiento de las partículas sólidas en el sistema de gas de la cama fluida han sido estudiados utilizando diferentes técnicas, aún cuando se han obtenido pocos estudios significativos. A medida que la burbuja se forma, ésta reúne partículas, luego se eleva, soltando los sólidos detrás de ella. Este proceso se va repitiendo en intervalos a medida que la burbuja se eleva. Una sola burbuja reúne la mitad de su volumen en partículas y logra arrastrarlas hasta la mitad de su diámetro. En una cama fluida se produce simultáneamente una gran cantidad de burbujas, su interacción resulta en un proceso muy complejo, que resulta en un alto grado de mezclado.

Figura 2

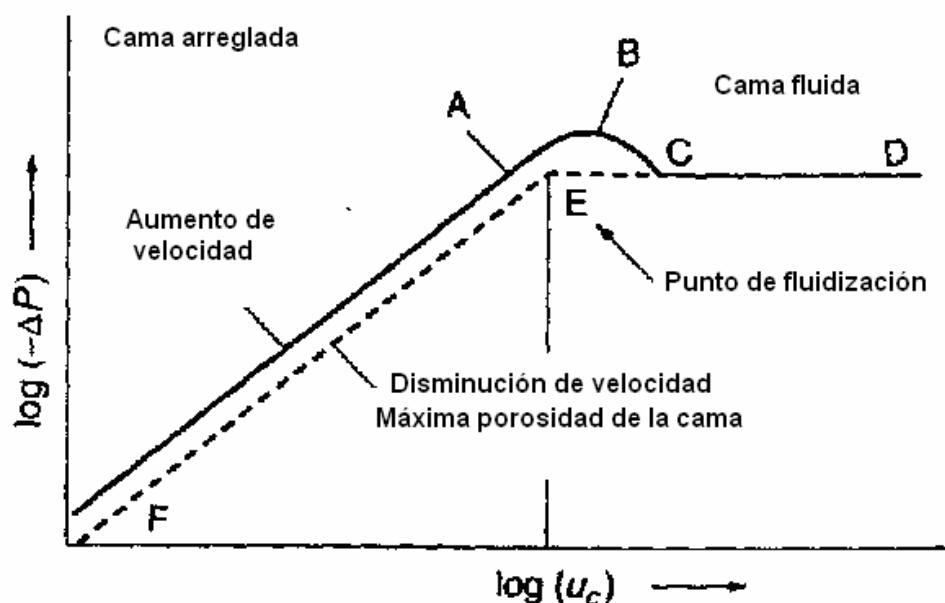
Razón entre volumen de burbuja y volumen de su estela

La razón entre el volumen de una burbuja y el volumen de su estela es generalmente 3:1



3. Efecto de la velocidad de fluidización en el gradiente de presión. Si se grafica la presión en la cama fluida versus la velocidad en coordenadas logarítmicas, se obtiene una relación lineal hasta el punto en el que empieza la expansión de la cama (A), la pendiente de la curva va disminuyendo gradualmente a medida que la cama se expande y su porosidad aumenta. Si la velocidad se aumenta, la caída de presión pasa por su valor máximo (B) y luego empieza a disminuir hasta que llega a un valor constante, que es independiente de la velocidad el fluido (CD). Si la velocidad se reduce otra vez, la cama se contrae hasta que alcanza la condición en la que las partículas descansan unas sobre otras (E). En este punto la porosidad esta en su máxima estabilidad, lo que ocurre para una cama fija. Si la velocidad se sigue disminuyendo aún mas, la estructura de la cama no se ve afectada, a menos que se vea expuesta a vibración. La caída de presión (EF) es menor que la que se tenía antes de la fluidización.

Figura 3
Caída de presión vrs. cama fluida y fija



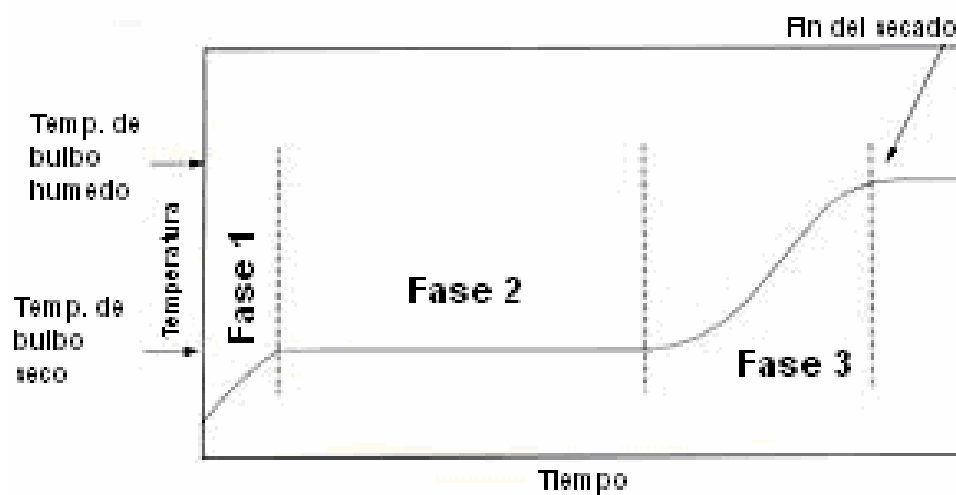
a. Plato distribuidor. A medida que se va introduciendo aire por la parte baja de la cama fluida, la velocidad de un determinado volumen de aire determina la fluidización que se va a obtener. Los distribuidores de aire se cubren de una maya fina que provee de aire a toda la cama. Los platos se identifican por el porcentaje de área sin ocupar. Se pueden encontrar platos con 4%, 6%, 8%, 12%, 16% y

30% de área sin ocupar. Los platos se pueden intercambiar, de manera que se puedan introducir diferentes cargas de distintos tamaños de partícula y aún así obtener una uniformidad.

b. Acondicionamiento del aire. La capacidad de secado del aire debe ser tediosamente monitoreada. Durante el secado en la cama fluida, el producto pasa a través de tres diferentes fases de temperatura. Al principio del proceso, el material se calienta desde la temperatura ambiente, hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire dentro del secador. Esta temperatura se mantiene hasta que el contenido de humedad del material se reduce al punto crítico. En este punto el material no retiene ninguna humedad en la superficie y la temperatura se dispara. En algunos casos la temperatura se eleva hasta que alcanza el equilibrio con la temperatura del aire dentro del secador, pero en la mayoría de los procesos el secado se termina antes de que el material alcance esta temperatura terminal.

Figura 4

Fases de temperatura de secado



La capacidad de secado del aire depende de la humedad relativa del aire que vaya entrando. Si a una temperatura dada el aire se satura con vapor de agua, una caída en la temperatura forzaría a que la masa de aire ceda parte de su humedad en forma de condensado. Mediante la deshumidificación del aire se puede mantener una capacidad constante de secado y por lo tanto un tiempo de proceso constante. Esta es una proposición de alto costo, pero en la actualidad muchas compañías optan por esto, ya que esto les asegura la calidad del producto y la consistencia del proceso.

Cuando se utiliza aire fluidizado a baja temperatura, las condiciones climáticas pueden jugar un papel importante en el proceso de cama fluida. Al utilizar ciertas resinas y otros materiales sensibles al calor, un tiempo alto de residencia en la zona de secado permite obtener una temperatura de salida mas baja, sin necesidad de aumentar la humedad en el producto. Un tiempo alto de residencia tiene un efecto similar a

elevant la temperatura externa. Las partículas de tamaño uniforme tienen el mismo efecto, pero cuando las partículas no son uniformes, las más grandes necesitan una temperatura mayor y/o un aumento en el tiempo de secado.

El acondicionamiento del aire incluye:

- 1) Filtrado. Se coloca una maya, seguida de un filtro de polvo, que se coloca antes de que el aire entre al sistema. Un filtro de alta eficiencia de partículas en el aire (HEPA) se coloca después de calentar el aire.
- 2) Deshumidificador: Un enfriador seguido de una trampa de gotas.
- 3) Calentador. Lo forma intercambiador de calor de tubo fino.
- 4) Humidificador. Durante las temporadas de frío y sequía, la humedad del aire puede ser más baja de lo deseable, por lo que la re-humidificación puede ser necesaria. La humidificación se utiliza para mantener constante las condiciones de entrada y el tiempo del proceso.

B. Secado:

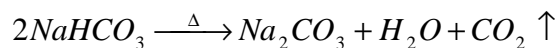
1. Parámetros que involucra el secado:

- a. Transferencia de calor (del medio hacia el líquido en la superficie)
- b. Atmósfera de secado (Grado de saturación)
- c. Propiedades generales de los sistemas sólido-líquido
- d. Propiedades del sólido (tamaño de partícula, área efectiva del sólido, solubilidad del sólido en el líquido a remover)

La transferencia de calor se puede dar por convección, conductividad y/o radiación. Es conveniente tratar la teoría de secado en términos de pura convección y conducción, sin importar que después se tengan que utilizar factores de corrección para el efecto de transferencia de calor.

El diseño de secadores depende, en su mayoría, de la práctica y experimentación con el material y el sistema de operación.

La siguiente mecanismo muestra la reacción del bicarbonato de sodio dentro de la cama de lecho fluido:



El carbonato de sodio es higroscópico, por lo que no puede haber mucho de éste, además que aumenta la alcalinidad del producto.

2. Clasificación de secadores. Existen muchos tipos de secadores en el mercado, cada uno con su propia especialidad y unos cuantos que son versátiles y pueden secar mas de un tipo de material. Se pueden clasificar de acuerdo al método de operación o tarea que deban realizar. Para una tarea en particular, se suele seleccionar un secador en términos de rendimiento y economía.

La primera gran distinción que se hace es acerca del proceso o método de operación, si se va a trabajar en una planta en la que se necesite un secador continuo donde se vayan a secar cientos de kilos por hora, o si se necesitara un secador mas pequeño, para una planta que trabaje por lotes.

Después de clasificarlo según el método de operación, la siguiente subdivisión sería según el método de transferencia de calor:

- a. Calor por conducción
- b. Calor por convección
- c. Calentamiento infra-rojo (radiación)
- d. Calentamiento dieléctrico

Otra de las principales subdivisiones sería el tipo de contenedor-bandeja que se tenga, ya sea rotatorio de tambores, cama fluida, neumático, etc.

También se pueden clasificar según la manera en que se alimenta el material al secador. Ya que si se tiene algún material muy viscoso, se le tiene que tratar previamente para que las pérdidas no sean excesivas.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente dentro de una industria farmacéutica en Guatemala, se cuenta con una amplia gama de productos efervescentes, los cuales forman el mayor porcentaje de la producción de la misma. Uno de los principales procesos dentro de la manufactura de estos productos efervescentes es la calcinación del bicarbonato de sodio.

Para la calcinación del bicarbonato de sodio se utiliza un horno de lecho fluidizado. Hasta el momento no se ha realizado ningún estudio que demuestre cuál es el punto y las variables que pueda maximizar la eficiencia del horno. De acuerdo a las especificaciones del equipo la carga dentro de éste posiblemente no es la correcta, el diseño del filtro no es el más adecuado y el tiempo de calcinación es muy alto.

El hecho que el horno no se esté utilizando a su máxima capacidad, implica un gasto innecesario de energía, una mayor cantidad de horas-hombre para este proceso y por ende, un mayor costo de producción para cada lote de bicarbonato de sodio que se calcine.

Entonces, al realizar un análisis del proceso de calcinación para el bicarbonato de sodio en el horno de cama fluida, se buscará aumentar la eficiencia del horno, de manera que se pueda disminuir el tiempo de calcinación, se ahorre energía y horas-hombre. Con lo que se disminuye el costo de producción de cada lote de bicarbonato de sodio.

IV. OBJETIVOS

A. Generales:

1. Aumentar la eficiencia de calcinación del bicarbonato de sodio en un horno de lecho fluidizado para disminuir el tiempo de calcinación y disminuir costos en el manejo de la calcinación del bicarbonato de sodio.

B. Específicos:

1. Hacer diagnóstico de la situación actual del proceso de calcinación para confirmar las variables a tratar.
2. Variar el área y material del filtro, de manera que se pueda ver la influencia de ambos en el tiempo de calcinación del bicarbonato de sodio.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos, diseñar un filtro de mangas para la calcinación de bicarbonato de sodio en una cama de lecho fluidizado.
4. Realizar el análisis económico del proceso actual y del proceso obtenido.

V. PROBLEMA A RESOLVER

El proceso de calcinación para el bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida, en una planta de productos farmacéuticos, tiene un tiempo de calcinación establecido experimentalmente, no se sabe cuál es la carga máxima con la que se pueda trabajar, se está utilizando energía y horas hombre extra para producir un solo lote. Se cree que el costo de producción de cada lote de bicarbonato de sodio se puede disminuir y eso es lo que se pretende lograr con este trabajo de graduación.

VI. METODOLOGÍA

- A. Manejo del horno de lecho fluidizado: Se aprenderá a operar el horno. Esto se hará con ayuda del manual del equipo, bajo supervisión de un experto en el manejo de éste.
- B. Diagnóstico de la situación actual y confirmar variables a tratar: sabiendo operar el horno se puede disponer de diferentes variables a tratar en éste mismo.
- C. Variar área del filtro: Se disminuirá y aumentara el área del filtro, para disminuir el área se tapanán algunas mangas, y para aumentar el área se deberá de construir un filtro con mayor cantidad de mangas.
- D. Diseño de filtro: Con base a los resultados obtenidos de las pruebas se diseñará un filtro que maximice la eficiencia del horno.
- E. Análisis económico del proceso: Se realizará un análisis económico, que demuestre cuánto se está ahorrando y cómo, gracias a la maximización de la eficiencia del horno.

VII. RESULTADOS

A. Descripción Filtros

Tabla No. 1
Diseño de filtros

| Filtro | No. Mangas | Forma de manga | Area (m ²) | % área aumentada |
|--------|------------|----------------|------------------------|------------------|
| A | 33 | Cilíndricas | 17.4 | 40 |
| B | 47 | Cónicas | 15.1 | 21 |
| C | 47 | Cilíndricas | 21.3 | 70 |

B. Pruebas

Tabla No. 2
Resultados del proceso con filtro original, A, B y C

| No. Prueba | Filtro | % bicarbonato de sodio | Desv est | Carga (kg) | Desv est | Tiempo de calentamiento (min) | Desv est | Tiempo de carbonatación (min) | Desv est | Tiempo de enfriamiento (min) | Desv est | Tiempo total (min) |
|------------|-------------|------------------------|----------|------------|----------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|------------------------------|----------|--------------------|
| 1 | Original 27 | 86,1 | 0,4 | 370,3 | 1,2 | 10,2 | 0,5 | 27,0 | 0,0 | 17,6 | 1,6 | 54,7 |
| 2 | filtro A 27 | 85,0 | 0,4 | 368,6 | 2,1 | 10,0 | 0,2 | 26,9 | 0,3 | 14,9 | 1,1 | 51,8 |
| 3 | filtro A 26 | 84,3 | 0,2 | 368,6 | 3,6 | 10,0 | 0,0 | 26,0 | 0,0 | 14,0 | 1,0 | 50,0 |
| 4 | filtro A 25 | 84,5 | 0,2 | 368,7 | 1,3 | 10,0 | 0,0 | 25,1 | 0,3 | 13,7 | 0,8 | 48,8 |
| 5 | filtro A 24 | 85,5 | 0,2 | 371,8 | 1,3 | 10,0 | 0,0 | 23,6 | 0,9 | 14,7 | 1,7 | 48,2 |
| 6 | filtro A 23 | 85,7 | 0,3 | 372,3 | 1,2 | 10,0 | 0,0 | 23,0 | 0,0 | 15,4 | 1,4 | 48,4 |
| 7 | filtro B 25 | 86,3 | 0,3 | 371,9 | 1,2 | 8,1 | 0,5 | 24,9 | 0,5 | 16,9 | 0,6 | 49,9 |
| 8 | filtro B 24 | 87,0 | 0,2 | 372,7 | 1,2 | 8,0 | 0,0 | 24,0 | 0,0 | 16,7 | 0,6 | 48,7 |
| 9 | filtro C | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |

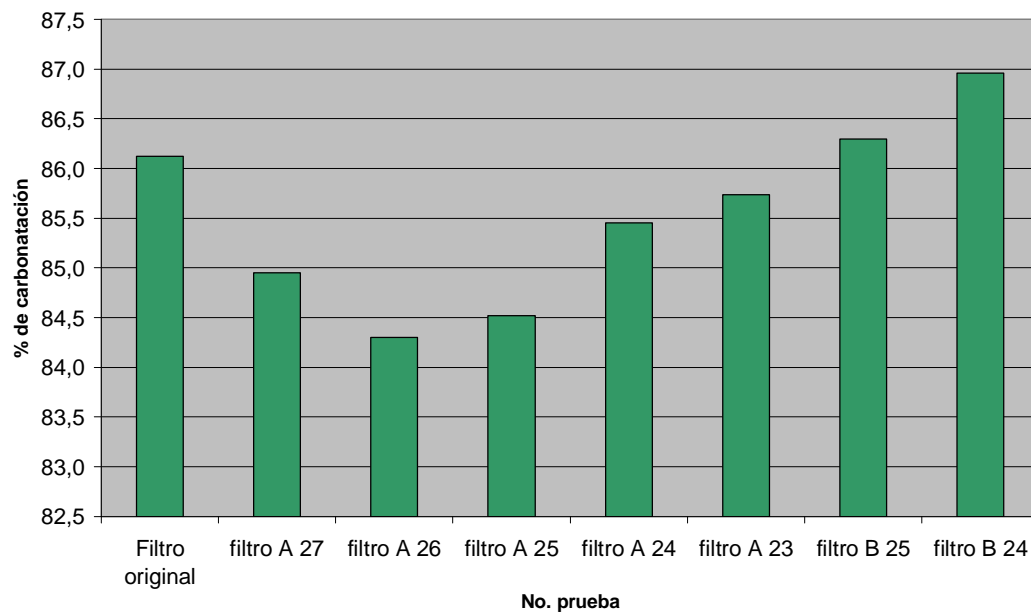
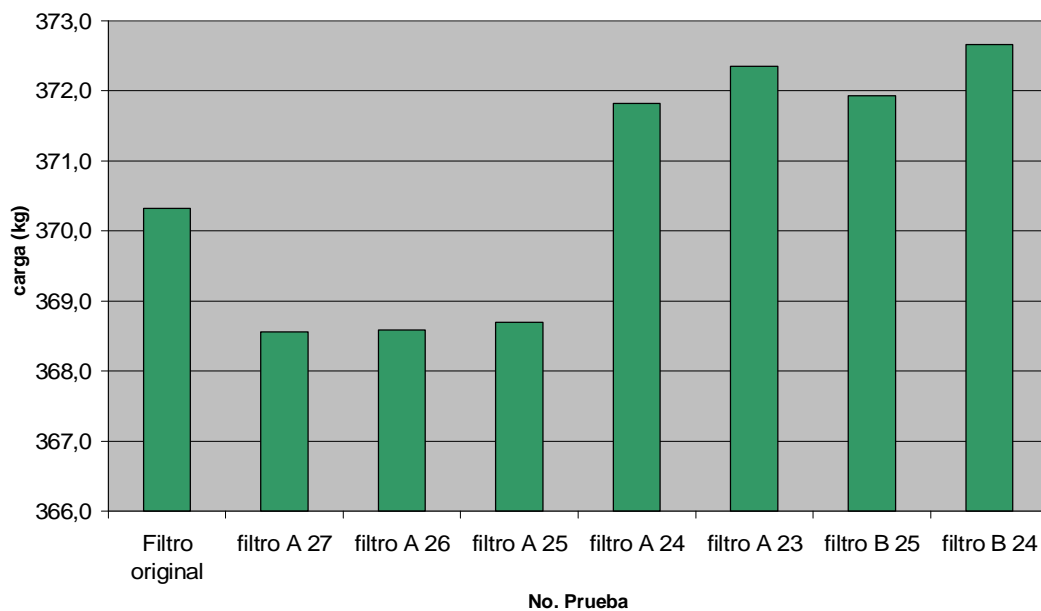
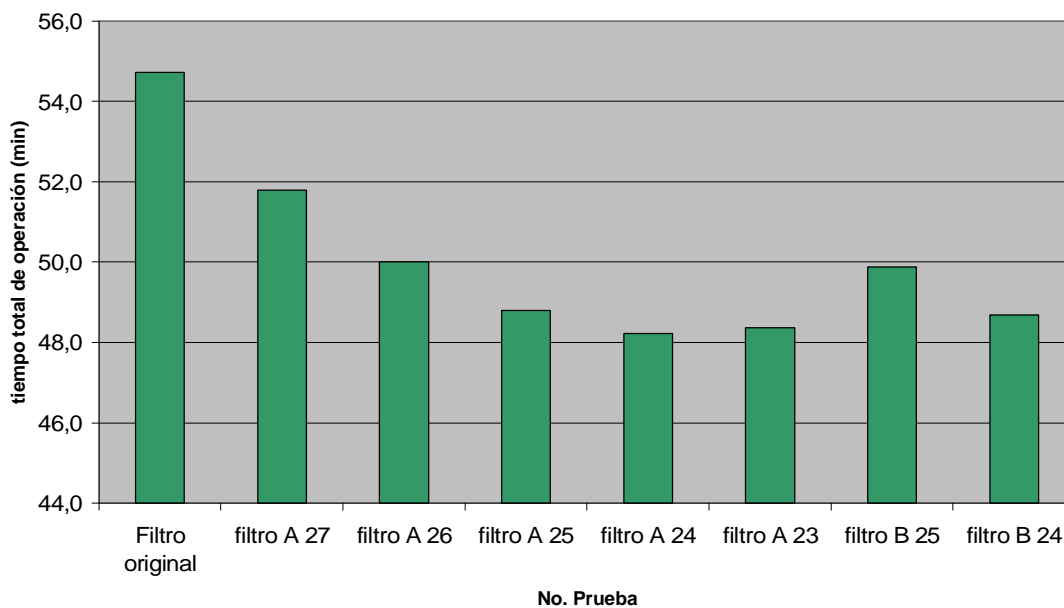
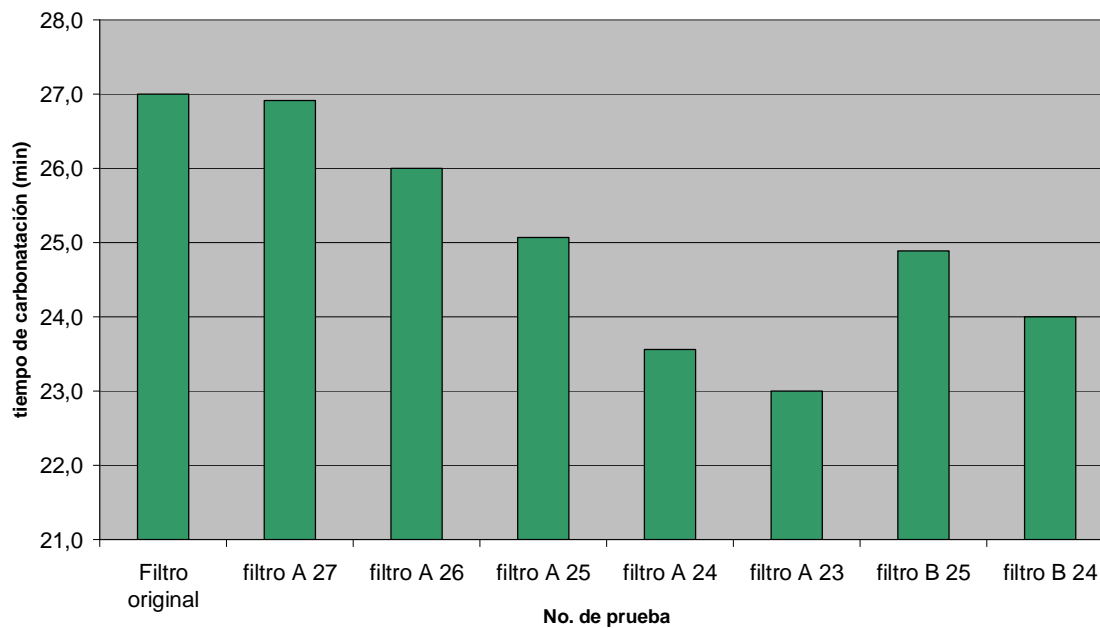
Gráfico 1: Pruebas vs. % carbonatación**Gráfico 2: No. de prueba vs. carga**

Gráfico 3: No. de prueba vrs. tiempo total de operación**Gráfico 4: No. de prueba vrs. tiempo de carbonatación**

C. Análisis económico

Tabla No.3
Flujo de caja si no se realiza el reemplazo

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| egresos (-) | | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 |
| depreciación (-) | | | | | | | | | | | |
| utilidad antes de impuesto | | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 | -511068 |
| impuesto (+) | | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 | 25553 |
| utilidad neta | | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 |
| depreciación (+) | | | | | | | | | | | |
| flujo de caja | | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 |

Tabla No.4
Flujo de caja con el reemplazo

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| egresos (-) | | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 | -464474 |
| depreciación (-) | | -741 | -1334 | -1067 | -854 | -683 | -546 | -485 | -485 | -485 | -729 |
| utilidad antes de impuesto | | -465216 | -465808 | -465542 | -465328 | -465158 | -465021 | -464960 | -464960 | -464960 | -465203 |
| impuesto (+) | | 23261 | 23290 | 23277 | 23266 | 23258 | 23251 | 23248 | 23248 | 23248 | 23260 |
| utilidad neta | | -441955 | -442518 | -442265 | -442062 | -441900 | -441770 | -441712 | -441712 | -441712 | -441943 |
| depreciación (+) | | 741 | 1334 | 1067 | 854 | 683 | 546 | 485 | 485 | 485 | 729 |
| inversión (-) | -7412 | | | | | | | | | | |
| flujo de caja | -7412 | -441214 | -441184 | -441197 | -441208 | -441216 | -441223 | -441226 | -441226 | -441226 | -441214 |

Tabla No.5
Flujos diferenciales

| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| con reemplazo (filtro A) | -7412 | -441214 | -441184 | -441197 | -441208 | -441216 | -441223 | -441226 | -441226 | -441226 | -441214 |
| sin reemplazo | 0 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 | -485515 |
| Diferencia | -7412 | 44301 | 44331 | 44317 | 44307 | 44298 | 44291 | 44288 | 44288 | 44288 | 44300 |

Tabla No. 6
Resultados análisis económico

| | |
|-------------------|----------|
| Inversión inicial | Q7412.00 |
| TIR | 598% |
| VAN | Q153.514 |

VII. DISCUSIÓN

Se reunió los resultados que se obtuvo en el año 2006 para encontrar tendencias y variables a controlar. De todas las semanas del año 2006 se comparó las que se carbonató con el mismo tiempo. Para un tiempo de 27 minutos de carbonatación se obtuvo que en 47% de los casos el bicarbonato de sodio disminuyó a lo largo de la semana, en 21% de los casos aumentó y 32% de los casos no mostraron tendencia alguna. Para un tiempo de 26 minutos de carbonatación se obtuvo que en 56% de las semanas el bicarbonato de sodio disminuyó, en 33% aumentó y 11% no mostró tendencia alguna. Lo que indica que el tiempo de carbonatación se puede disminuir a lo largo de la semana para obtener un porcentaje de bicarbonato de sodio similar. Todos los datos se encontraron dentro del rango de 84-88% de bicarbonato de sodio.

Se analizó los resultados entre operarios, estos siempre se encontraron dentro del rango aceptado (84-88%), por lo que el operario no se tomó como una variable. Además se tomó en cuenta que los operarios no son fijos, estos rotan a lo largo del día, lo que hizo más difícil que se dependiera de una sola persona para operar el horno de cama fluida durante todo el tiempo de pruebas.

Otra de las variables que no se tomó en cuenta fue el tamaño de partícula del bicarbonato de sodio, ya que no se usó un solo lote de materia prima durante las pruebas. Se realizó análisis de tamaño de partícula a varios lotes de materia prima de bicarbonato de sodio. Esto para ver si existía alguna diferencia significativa en el tamaño de partícula entre un lote y otro. Se fueron tomando muestras de bicarbonato de sodio al azar, antes y después de carbonatar, para hacerles el análisis de tamaño de partícula y estos cumplieron siempre con las especificaciones requeridas, por lo que el tamaño de partícula del bicarbonato entre lotes no se tomó como variable.

El análisis para determinar el porcentaje de bicarbonato de sodio se realizó siempre por el mismo analista, lo que descarta que el análisis no sea repetitivo entre una persona y otra.

Se estandarizó el muestreo del bicarbonato de sodio carbonatado. Se utilizó un muestreador de polvo, con el que se realizó 2 tomas de muestras en cada una de las esquinas del contenedor, y 2 en el centro para un total de 10 muestras, a una altura aproximada de 15 cm de la superficie del polvo.

Ya que no se tomó como variable al operario, tamaño de partícula entre lotes, la forma de análisis, día, hora y temperatura del muestreo, flujo de entrada de aire y vapor, material del filtro, entonces se decidió variar el área de filtrado y el tiempo de carbonatación a lo largo de la semana. La teoría indica que al aumentar el área de filtrado se obtiene una mejor fluidización, por lo que se varió el área del filtro.

Se tomó las medidas del filtro original y se calculó que el área de filtrado es de aproximadamente 12.48 m² y cuenta con 33 mangas cónicas. Se obtuvo que para el año 2006 el rendimiento por lote fue de 1113.4 kg, con un tiempo total promedio de 52 minutos por sublote.

Para los filtros originales el tiempo de carbonatación encontrado el primer día que se utilizó el filtro es el mismo tiempo que se manejó durante toda la semana. Pero en el caso de los filtros nuevos se tomó un día para realizar pruebas que definen cada uno de los tiempos. Estos tiempos se fueron modificando a lo largo de la semana siempre y cuando se logró obtener un resultado cercano al objetivo (86% de bicarbonato de sodio) sin perder carga ni aumentar el tiempo. Se procedió a colocar el filtro nuevo el día viernes y hacer

pruebas el sábado. Los datos obtenidos los días de pruebas no fueron tomados en cuenta para el análisis de datos final, ya que estos días se llevo el sistema al equilibrio y hay datos fuera del rango aceptado. Se tomó el resto de datos a lo largo de la semana sin importar la hora y día que fuera. Los filtros se utilizaron por un periodo de dos semanas de manera que se tuvieran suficientes datos para analizar.

Primero se tomaron muestras durante dos semanas para el filtro original, como se puede ver en la Tabla No.2, el tiempo de carbonatación para este filtro fue de 27 minutos durante las dos semanas de uso, obteniendo un tiempo total de operación de 54.7 minutos. Ya que éste es el filtro con el que se acostumbra trabajar no se presentó ningún problema. Los filtros nuevos se identificaron de la siguiente manera: 33 mangas con 21cm de diámetro = A, 47 mangas cónicas con 18 cm de diámetro = B y 47 mangas rectas con 18 cm de diámetro = C. El orden en el que se realizó las pruebas con cada filtro nuevo fue aleatorio.

Se prosiguió a realizar pruebas con el filtro A (33 mangas rectas, $\varnothing = 21\text{cm}$), se inició con un tiempo de carbonatación de 27 minutos, el mismo que se manejó para el filtro original. Como se observa en la gráfica No.1 y tabla No. 2, el porcentaje de bicarbonato de sodio disminuyó 0.9% más que con el filtro original. Lo que demostró que con el mismo tiempo de calcinación el filtro A carbonató más. El tiempo de carbonatación se disminuyó de minuto en minuto hasta llegar a 23 minutos, al ir disminuyendo el tiempo el % de bicarbonato aumento hasta llegar a 85.7%. La carga de bicarbonato de sodio carbonatado se disminuyó del filtro original al filtro A en 1.8 kg, pero al disminuir el tiempo de carbonatación con el filtro A hasta 23 minutos la carga aumentó 2.0 kg más que con el filtro original (ver gráfica No. 2). Como se observó en la Gráfica No. 3, el tiempo total de operación disminuyó conforme se disminuyó el tiempo de carbonatación hasta 24 minutos a 48.2 min, pero a los 23 minutos de carbonatación aumento a 48.4 min. Por lo que ya no se siguió disminuyendo el tiempo de carbonatación y aquí se terminó las pruebas con el filtro A.

Se colocó el filtro C (47 mangas rectas, $\varnothing = 18\text{ cm}$), se colocó 14 ganchos más en los anillos para las mangas extras. Se distribuyó los ganchos de forma uniforme y se inició con el proceso. Un par de minutos antes de terminar la etapa de calentamiento se observó que el bicarbonato dejó de fluir y la presión de vapor se disparó por encima del valor objetivo, lo que produjo el cierre automático de la entrada de vapor. Se detuvo el proceso y se revisó el filtro. Se encontró que gran parte del bicarbonato de sodio se fue acumulando dentro de las mangas. El bicarbonato de sodio funcionó como tapón en el filtro, lo que disparo la entrada del vapor. Se procedió a sacudir el las mangas del filtro y empezar de nuevo, pero el comportamiento del bicarbonato fue el mismo. No se logró finalizar el proceso con ninguno de los sublotos por lo que se retiró el filtro C y aquí se terminó las pruebas con este filtro.

Por último se realizó pruebas con el filtro B (47 mangas cónicas, $\varnothing = 18\text{ cm}$), se inició con un tiempo de carbonatación de 25 minutos, lo que produjo un porcentaje de bicarbonato de sodio de 86.3%, bastante cercano al valor objetivo de 86%. La carga final promedio fue 371.9 kg. Se obtuvo un tiempo de calentamiento de 8 minutos, dos minutos menos que con el filtro original y filtro A, pero se siguió acumulando una cantidad del bicarbonato de sodio en las mangas, no como para disparar el dispositivo de entrada de vapor como sucedió con el filtro C. Se disminuyó el tiempo de carbonatación a 24 minutos, pero

el porcentaje de bicarbonato de sodio aumentó a 87.0%, alejándose del valor objetivo. En este punto la acumulación del bicarbonato de sodio en las mangas provocó la ruptura del filtro C. Aun cuando la acumulación del bicarbonato de sodio no fue suficiente como para disparar el dispositivo de entrada de vapor, fue suficiente que el filtro se rompió.

Respecto a la carga (ver gráfica No. 2) se observó que con el filtro original la carga final por sublote fue de 370.3 kg. Con el filtro A y un tiempo de carbonatación de 27 minutos la carga disminuyó a 368.6 kg, al ir disminuyendo el tiempo de carbonatación la carga fue aumentando, hasta que a 23 minutos de carbonatación la carga llegó a ser 372.3 kg, 2.0 kg de diferencia entre el filtro original y el filtro A. Al colocar el filtro B, se obtuvo una carga final de 371.4 kg para 25 minutos de carbonatación. Al disminuir el tiempo de carbonatación a 24 minutos la carga aumentó a 372.7 kg, pero al mismo tiempo el porcentaje de bicarbonato de sodio se estaba alejando del objetivo.

Debido a todo lo presentado anteriormente se recomendó utilizar el diseño del filtro A, esto ahorró 4 minutos del tiempo de carbonatación, mantuvo el porcentaje de bicarbonato de sodio en 85.7% y aumentó la carga final en 2.0 kg.

Al escoger el diseño del filtro A, el operador pudo hacer un sublote mas por día. Tomando una base de 24 días trabajados al mes, se calculó que en un año se logrará hacer 2409 sublotes, lo que equivale a 219 sublotes más en un año.

Se realizó el análisis económico para determinar la rentabilidad del proyecto en un periodo de 10 años. En la Tabla No. 20 y 21 se encuentran desglosados los diferentes egresos para el proyecto sin reemplazo y con reemplazo. La tabla No. 3 y 4 representan los flujos de caja con y sin el reemplazo. En el flujo diferencial se observó que solo durante el año cero hay pérdida debido a la inversión inicial, pero el resto de años traen ganancia. Se utilizó el método de depreciación SMARC, los resultados muestra una Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto de 598% y un Valor Actual Neto en libros (VAN) de Q153.514. Se utilizó una tasa de descuento de 26% des Estos valores muestran que el proyecto es rentable y factible para llevarlo a cabo en la industria farmacéutica.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se varió el tiempo de calcinación que se disminuyó a lo largo de la semana y el área de filtrado.
2. El filtro A se mantuvo estable durante todas las pruebas, el filtro B no resistió la frecuencia de uso debido a la leve acumulación de bicarbonato de sodio en las mangas y el filtro C no logró equilibrarse debido a la total acumulación de bicarbonato de sodio en las mangas que evitó fluidización.
3. Se descartó el diseño del filtro B y C y se escogió el diseño del filtro A para aumentar la eficiencia del horno de cama fluida.
4. El filtro A con un área de 17.4 m^2 , 40% más área que el filtro original, ahorró 4 minutos del tiempo de carbonatación, mantuvo el porcentaje de bicarbonato de sodio estable en 85.7% y aumentó la carga final en 2.0 kg.
5. Al escoger el filtro A se obtiene mayor productividad en el proceso, ya que el operador realiza un sublote más por día, lo que equivale a 219 sublotes más por año.
6. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto es de 598% y el Valor Actual Neto en libros (VAN) es de Q153.514, lo que demuestra que el proyecto es rentable y factible para llevarlo a cabo en la industria farmacéutica.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no utilizar filtros con mangas que tengan un diámetro de 18 cm o menor, debido a la acumulación de bicarbonato de sodio que se produce en las mangas, lo que tapa el filtro y evita la fluidización.
2. Se recomienda utilizar filtros con un material igual o similar al lino poliéster, que tenga un tamaño de poro idéntico.
3. Se recomienda utilizar el mismo diseño de filtro para aumentar la fluidización de otros productos con características similares, por ejemplo el secado de ciertos granos y polvos finos.
4. Se recomienda mantener condiciones ambientales y de operación iguales o similares a las utilizadas en este trabajo (ver Tabla No. 8 "Variables a tomar en cuenta").

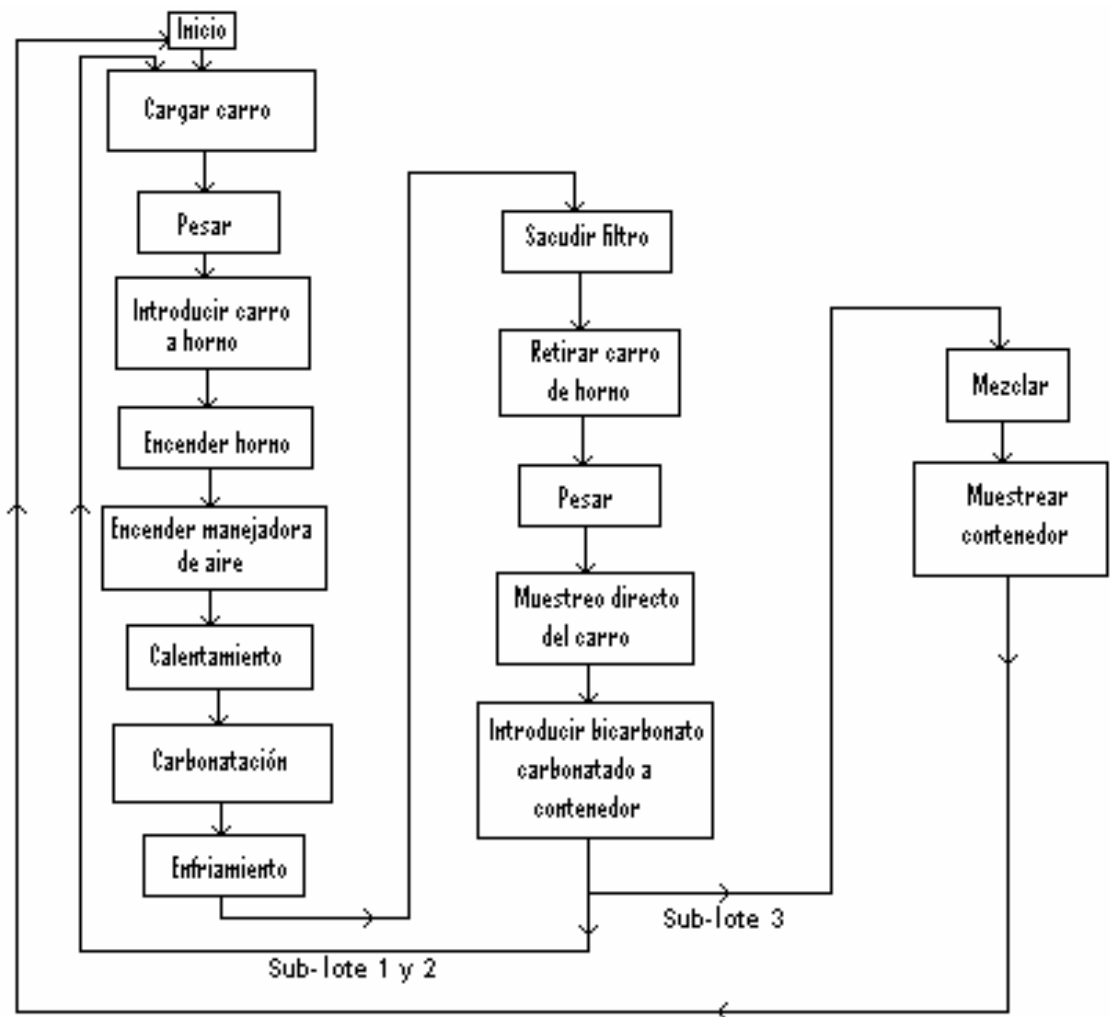
X. BIBLIOGRAFÍA

- Agarwal, Amrit T. <<Design guide for dust collectors>>. *Chemical Engineering*. Febrero 2005. págs. 42-49.
- Bergmann, Lutz. <<Beat in the Baghouse Blues>>. *Chemical Engineering*. Enero 2001. págs. 65-67.
- Bunk, S. A. y J. P. D'Acerno. <<Selecting A Winner In Fluidization>>. *Chemical Engineering*. Mayo 1999. págs. 86-93.
- Jacob, Michael. 2004. <<An introduction to continuous fluidized-bed agglomeration and spray granulation>>. *Powder and Bulk Engineering*. CSC Publishing Inc. 18 (4).
- Latrman, M. y R. Laible. <<Batch drying: the `indirect` solution to sensitive drying problems. *Chemical Engineering*. Noviembre 2005. págs. 34-39.
- Niro Pharma Systems. <<Current Issues and Troubleshooting Fluid Bed Granulation>>. *Pharmaceutical Technology*, Europa. Mayo, 1998.
- Nonhebel, G. y A.A.H. Moss. 1971. *Drying of solids in the chemical industry*. Londres, Butterworths. pág. 7-61.
- Parikh, Dilip M. *Airflow in Batch Fluid-Bed Processing*. GEA Niro Inc. <<http://www.niroinc.com/html/pharma/pairflowarticle.html>> [consulta: 5 de Julio de 2005]
- Richardson, J.F. y J.H. Harker. 2002. *Chemical Engineering, particle technology and separation processes*. 5a ed. Gran Bretaña, Butterworth Heinemann. Volumen 2. pág. 291-333, 946-951.
- Schobert, Harold H. 1987. *Coal, the energy source of the past and future*. Washington, American Chemical Society. pág. 97-99

XI. ANEXOS

A. Diagrama de operación

Figura 5
Diagrama de operación



B. Descripción del equipo:

| | |
|-----------------------|--|
| Horno de cama fluida: | Servicio: Carbonatar el bicarbonato de sodio. Marca: Fitz FA-500Sta-Rite. Potencia: 15.2 kW |
| Filtro: | Servicio: Filtrar el aire con bicarbonato de sodio dentro del horno de cama fluida. Material: Lino Poliéster Tamaño de poro: 75 micrones |
| Manejadora de aire | Servicio: Alimentar aire a horno de cama fluida. Potencia: 7 kW |
| Caldera: | Servicio: Alimentar vapor a horno de cama fluida. Potencia 150 hp |

C. Datos obtenidos:

Tabla No.7
Medidas filtro original

| | | |
|-----------------------|-----|----|
| Diámetro base manga | 21 | cm |
| Diámetro arriba manga | 9 | cm |
| Altura | 80 | cm |
| Diámetro total filtro | 174 | cm |
| Cantidad de mangas | 33 | |

Tabla No. 8
Variables a tomar en cuenta

| Variable | Resultado |
|--|--|
| Comportamiento a lo largo de la semana | Con un tiempo de calcinación de 27 minutos el 47% de las semanas el bicarbonato de sodio fue disminuyendo a lo largo de ésta. Para 26 minutos el 56% de las semanas mostró el mismo comportamiento. Si se toma como variable. |
| Personal operativo | |
| Operario del horno de cama fluida | Los resultados siempre se encuentran dentro del rango permisible, por lo que esto no se tomó como variable, ya que el horno de cama fluida es siempre operado de la misma manera según el "Procedimiento Maestro de Producción". |
| Analista | Todos los análisis se realizaron por personas capacitadas según el procedimiento de "Análisis de Bicarbonato de Sodio Carbonatado". No se toma como variable. |
| Control y condiciones de operación | |
| Tamaño de partícula del bicarbonato de sodio | Cumplió con las especificaciones de análisis. No se encontró ninguna diferencia significativa entre las muestras de distintos lotes. |
| Presión de vapor | Menor que 620.5 kPa. No se toma como variable. |
| Humedad absoluta del área de operación | Menor que 0.0136 kg H ₂ O / kg aire seco, de lo contrario no se sigue operando. |
| Humedad relativa del aire de entrada | Menor a 55%, de lo contrario no se sigue operando. |
| Presión estática de succión | 0.254 m de agua máximo. No se toma como variable. |
| Temperatura a la que se toma la muestra | 60-70°C. No se toma como variable. |

Cont. Tabla No. 8

| | |
|--|---|
| Muestreo | Se utilizó un muestreador de polvo, con el que se realizó 2 tomas de muestras en cada una de las esquinas del contenedor, y 2 en el centro para un total de 10 muestras, a una altura aproximada de 15 cm de la superficie del polvo. No se toma como variable. |
| Día y hora de operación del horno de cama fluida | Lunes a viernes de 06:00 -19:00 horas Sábado y domingo de 06:00 – 14:00 horas |
| Día y hora de análisis del bicarbonato de sodio | Lunes a viernes de 04:00 -16:00 horas Sábado y domingo de 07:00 – 14:00 horas |
| Filtro | |
| Área original de filtrado | 12.5 m ² |
| Material del filtro | Lino poliéster |
| No. de mangas | 33 |
| Forma de mangas | Cilíndricas |
| Resultados 2006 | |
| Tiempo total de operación por sublote (min) | 52 ±2 |
| Bicarbonato de sodio (%) | 85.8 ±0.7 |
| Carga sublote (kg) | 371.1 ± 4.3 |
| Carga lote (kg) | 1113.4 |

1. Filtro original

Tabla No.9
Datos obtenidos con pruebas del filtro original

| LOTE | % bicarbonato (Lote completo) | Sub lote | Peso final | tiempo precalentamiento (min) | tiempo carbonatación (min) | tiempo enfriamiento (min) | Fecha carbonatación |
|----------|-------------------------------|----------|------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 07020901 | 86 | 1 | 363,2 | 12 | 27 | 16 | 12-feb-07 |
| 07020901 | 86 | 2 | 368 | 10 | 27 | 10 | 12-feb-07 |
| 07020901 | 86 | 3 | 370,6 | 10 | 27 | 17 | 12-feb-07 |
| 07020902 | 85,8 | 1 | 368,4 | 10 | 27 | 18 | 12-feb-07 |
| 07020902 | 85,8 | 2 | 370,4 | 10 | 27 | 19 | 12-feb-07 |

Cont. Tabla No.9

| | | | | | | | |
|----------|------|---|-------|----|----|----|-----------|
| 07020902 | 85,8 | 3 | 368,9 | 10 | 27 | 18 | 12-feb-07 |
| 07021201 | 85,9 | 1 | 372 | 10 | 27 | 18 | 12-feb-07 |
| 07021201 | 85,9 | 2 | 369,2 | 10 | 27 | 19 | 12-feb-07 |
| 07021201 | 85,9 | 3 | 371,4 | 10 | 27 | 18 | 12-feb-07 |
| 07021202 | 86,4 | 1 | 371 | 10 | 27 | 18 | 12-feb-07 |
| 07021202 | 86,4 | 2 | 371,4 | 10 | 27 | 15 | 12-feb-07 |
| 07021202 | 86,4 | 3 | 370,8 | 10 | 27 | 17 | 13-feb-07 |
| 07021301 | 86,4 | 1 | 371,6 | 10 | 27 | 19 | 13-feb-07 |
| 07021301 | 86,4 | 2 | 370,8 | 10 | 27 | 18 | 13-feb-07 |
| 07021301 | 86,4 | 3 | 370,6 | 10 | 27 | 18 | 13-feb-07 |
| 07021302 | 86,5 | 1 | 370,6 | 10 | 27 | 18 | 13-feb-07 |
| 07021302 | 86,5 | 2 | 370,4 | 10 | 27 | 20 | 13-feb-07 |
| 07021302 | 86,5 | 3 | 371,6 | 10 | 27 | 18 | 13-feb-07 |
| 07021303 | 86,6 | 1 | 371,6 | 10 | 27 | 19 | 13-feb-07 |
| 07021303 | 86,6 | 2 | 369,4 | 10 | 27 | 20 | 13-feb-07 |
| 07021303 | 86,6 | 3 | 371,4 | 10 | 27 | 17 | 13-feb-07 |
| 07021401 | 86,7 | 1 | 369,8 | 10 | 27 | 17 | 14-feb-07 |
| 07021401 | 86,7 | 2 | 372,2 | 10 | 27 | 17 | 14-feb-07 |
| 07021401 | 86,7 | 3 | 370,4 | 11 | 27 | 18 | 14-feb-07 |
| 07021402 | 85,9 | 2 | 370,2 | 10 | 27 | 18 | 14-feb-07 |
| 07021402 | 85,9 | 3 | 372,6 | 10 | 27 | 18 | 14-feb-07 |
| 07021402 | 85,9 | 1 | 372,4 | 10 | 27 | 18 | 14-feb-07 |
| 07021501 | 85,7 | 2 | 370,2 | 10 | 27 | 15 | 14-feb-07 |
| 07021501 | 85,7 | 3 | 369,8 | 10 | 27 | 19 | 14-feb-07 |
| 07021501 | 85,7 | 1 | 370,6 | 10 | 27 | 18 | 14-feb-07 |
| 07021502 | 86 | 1 | 370,6 | 10 | 27 | 19 | 14-feb-07 |
| 07021502 | 86 | 2 | 369,2 | 10 | 27 | 19 | 14-feb-07 |
| 07021502 | 86 | 3 | 371,6 | 10 | 27 | 18 | 15-feb-07 |
| 07021503 | 85,8 | 1 | 370,6 | 10 | 27 | 18 | 15-feb-07 |
| 07021503 | 85,8 | 2 | 370,8 | 10 | 27 | 19 | 15-feb-07 |
| 07021503 | 85,8 | 3 | 369,2 | 12 | 27 | 20 | 15-feb-07 |
| 07021601 | 86 | 3 | 369,8 | 10 | 27 | 18 | 15-feb-07 |
| 07021601 | 86 | 1 | 369,8 | 10 | 27 | 19 | 15-feb-07 |
| 07021601 | 86 | 2 | 369,4 | 12 | 27 | 18 | 15-feb-07 |
| 07021602 | 85,9 | 3 | 371,2 | 10 | 27 | 18 | 16-feb-07 |
| 07021602 | 85,9 | 1 | 370,2 | 10 | 27 | 17 | 16-feb-07 |
| 07021602 | 85,9 | 2 | 369,8 | 10 | 27 | 18 | 16-feb-07 |
| 07021704 | 86 | 1 | 370 | 10 | 27 | 18 | 16-feb-07 |
| 07021704 | 86 | 2 | 370,6 | 10 | 27 | 15 | 16-feb-07 |
| 07021704 | 86 | 3 | 370 | 10 | 27 | 17 | 16-feb-07 |
| 07021705 | 86,3 | 1 | 370 | 10 | 27 | 18 | 16-feb-07 |
| 07021705 | 86,3 | 2 | 371 | 10 | 27 | 18 | 16-feb-07 |

Cont. Tabla No.9

| | | | | | | | |
|----------|------|---|-------|----|----|----|-----------|
| 07021705 | 86,3 | 3 | 369,6 | 10 | 27 | 18 | 17-feb-07 |
| 07021901 | 86,8 | 1 | 370,2 | 10 | 27 | 18 | 17-feb-07 |
| 07021901 | 86,8 | 2 | 370,6 | 10 | 27 | 17 | 17-feb-07 |
| 07021901 | 86,8 | 3 | 370,2 | 10 | 27 | 14 | 19-feb-07 |
| 07021902 | 86,9 | 3 | 371,8 | 10 | 27 | 16 | 19-feb-07 |
| 07021902 | 86,9 | 1 | 370 | 10 | 27 | 13 | 19-feb-07 |
| 07021902 | 86,9 | 2 | 371,8 | 10 | 27 | 15 | 19-feb-07 |
| 07021903 | 86,2 | 3 | 371,4 | 12 | 27 | 17 | 19-feb-07 |
| 07021903 | 86,2 | 2 | 369,6 | 10 | 27 | 16 | 19-feb-07 |
| 07021903 | 86,2 | 1 | 368 | 10 | 27 | 19 | 19-feb-07 |
| 07021904 | 86,2 | 1 | 371,4 | 10 | 27 | 17 | 19-feb-07 |
| 07021904 | 86,2 | 2 | 369,6 | 10 | 27 | 19 | 19-feb-07 |
| 07021904 | 86,2 | 3 | 370,6 | 10 | 27 | 19 | 19-feb-07 |
| 07022001 | 86 | 1 | 370 | 10 | 27 | 19 | 19-feb-07 |
| 07022001 | 86 | 2 | 371,6 | 11 | 27 | 17 | 20-feb-07 |
| 07022001 | 86 | 3 | 369,4 | 10 | 27 | 17 | 20-feb-07 |
| 07022002 | 85,2 | 1 | 370 | 10 | 27 | 17 | 20-feb-07 |
| 07022002 | 85,2 | 2 | 369,8 | 11 | 27 | 18 | 20-feb-07 |
| 07022002 | 85,2 | 3 | 369,4 | 10 | 27 | 17 | 20-feb-07 |
| 07022101 | 85,8 | 3 | 370,6 | 10 | 27 | 17 | 20-feb-07 |
| 07022101 | 85,8 | 1 | 370,4 | 10 | 27 | 15 | 20-feb-07 |
| 07022101 | 85,8 | 2 | 371,2 | 10 | 27 | 16 | 20-feb-07 |
| 07022102 | 86,2 | 3 | 371,6 | 11 | 27 | 16 | 21-feb-07 |
| 07022102 | 86,2 | 1 | 369,2 | 10 | 27 | 15 | 20-feb-07 |
| 07022102 | 86,2 | 2 | 368,6 | 10 | 27 | 19 | 20-feb-07 |
| 07022103 | 85,5 | 1 | 370,4 | 10 | 27 | 17 | 21-feb-07 |
| 07022103 | 85,5 | 2 | 371,2 | 11 | 27 | 17 | 21-feb-07 |
| 07022103 | 85,5 | 3 | 371 | 11 | 27 | 18 | 21-feb-07 |
| 07022201 | 86,5 | 1 | 370,2 | 10 | 27 | 19 | 21-feb-07 |
| 07022201 | 86,5 | 2 | 371,2 | 10 | 27 | 19 | 21-feb-07 |
| 07022201 | 86,5 | 3 | 370,6 | 10 | 27 | 19 | 21-feb-07 |
| 07022202 | 85,9 | 1 | 371,2 | 10 | 27 | 17 | 22-feb-07 |
| 07022202 | 85,9 | 2 | 370 | 10 | 27 | 17 | 22-feb-07 |
| 07022202 | 85,9 | 3 | 369 | 10 | 27 | 17 | 22-feb-07 |
| 07022301 | 86,1 | 3 | 368,6 | 11 | 27 | 19 | 23-feb-07 |
| 07022301 | 86,1 | 1 | 370,8 | 10 | 27 | 19 | 22-feb-07 |
| 07022301 | 86,1 | 2 | 369 | 10 | 27 | 17 | 22-feb-07 |
| 07022302 | 86,4 | 3 | 371 | 10 | 27 | 19 | 23-feb-07 |
| 07022302 | 86,4 | 2 | 370,2 | 10 | 27 | 19 | 23-feb-07 |
| 07022302 | 86,4 | 1 | 371,6 | 10 | 27 | 18 | 23-feb-07 |

2. Filtro A

Tabla No. 10
 Datos obtenidos en pruebas de filtro A

| LOTE | Sub lote | % bicarbonato (Lote completo) | Peso final | tiempo precalentamiento (min) | tiempo carbonatacion (min) | tiempo enfriamiento (min) | Fecha carbonatación |
|----------|----------|-------------------------------|------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 07022303 | 1 | 84,1 | 370,2 | 10 | 22 | 14 | 24-feb-07 |
| 07022303 | 2 | 84,1 | 372,8 | 8 | 24 | 14 | 24-feb-07 |
| 07022303 | 3 | 84,1 | 371,6 | 9 | 26 | 14 | 24-feb-07 |
| 07022601 | 1 | 84,5 | 369,2 | 10 | 27 | 15 | 24-feb-07 |
| 07022601 | 2 | 84,5 | 369,2 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022601 | 3 | 84,5 | 369,2 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022602 | 1 | 84,7 | 369 | 10 | 27 | 14 | 26-feb-07 |
| 07022602 | 2 | 84,7 | 370 | 10 | 27 | 14 | 26-feb-07 |
| 07022602 | 3 | 84,7 | 369,4 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022603 | 1 | 85,9 | 370,8 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022603 | 2 | 85,9 | 370 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022603 | 3 | 85,9 | 371 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022701 | 1 | 84,9 | 369,6 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022701 | 2 | 84,9 | 368,4 | 10 | 27 | 15 | 26-feb-07 |
| 07022701 | 3 | 84,9 | 367 | 10 | 27 | 16 | 26-feb-07 |
| 07022702 | 1 | 85,2 | 369,4 | 10 | 27 | 16 | 26-feb-07 |
| 07022702 | 2 | 85,2 | 371,8 | 10 | 27 | 14 | 27-feb-07 |
| 07022702 | 3 | 85,2 | 369,8 | 10 | 27 | 14 | 27-feb-07 |
| 07022703 | 3 | 84,8 | 367 | 10 | 27 | 16 | 27-feb-07 |
| 07022703 | 1 | 84,8 | 369,2 | 10 | 27 | 14 | 27-feb-07 |
| 07022703 | 2 | 84,8 | 371,4 | 10 | 27 | 15 | 27-feb-07 |
| 07022801 | 3 | 85,5 | 370,2 | 10 | 27 | 16 | 27-feb-07 |
| 07022801 | 2 | 85,5 | 371,2 | 10 | 27 | 15 | 27-feb-07 |
| 07022801 | 1 | 85,5 | 371,4 | 10 | 27 | 15 | 27-feb-07 |
| 07022802 | 1 | 85,2 | 366 | 10 | 27 | 16 | 27-feb-07 |
| 07022802 | 2 | 85,2 | 367,4 | 10 | 27 | 15 | 27-feb-07 |
| 07022802 | 3 | 85,2 | 372,8 | 10 | 27 | 14 | 28-feb-07 |
| 07022803 | 1 | 84,8 | 371,2 | 10 | 27 | 14 | 28-feb-07 |
| 07022803 | 2 | 84,8 | 368 | 10 | 27 | 14 | 28-feb-07 |
| 07022803 | 3 | 84,8 | 367,6 | 10 | 27 | 14 | 28-feb-07 |
| 07030101 | 2 | 85,4 | 368,4 | 10 | 27 | 17 | 28-feb-07 |
| 07030101 | 3 | 85,4 | 370,4 | 10 | 27 | 16 | 28-feb-07 |
| 07030101 | 1 | 85,4 | 367,8 | 10 | 27 | 15 | 28-feb-07 |
| 07030102 | 2 | 85,1 | 366,4 | 10 | 27 | 16 | 28-feb-07 |
| 07030102 | 3 | 85,1 | 369,8 | 10 | 27 | 14 | 04-mar-07 |
| 07030102 | 1 | 85,1 | 368,6 | 10 | 27 | 17 | 28-feb-07 |
| 07030103 | 1 | 85,3 | 368,4 | 10 | 27 | 14 | 01-mar-07 |

Cont. Tabla No. 10

| | | | | | | | |
|----------|---|------|-------|----|----|----|-----------|
| 07030103 | 2 | 85,3 | 370,8 | 10 | 27 | 15 | 01-mar-07 |
| 07030103 | 3 | 85,3 | 367,2 | 10 | 27 | 15 | 01-mar-07 |
| 07030201 | 1 | 85,6 | 371 | 10 | 27 | 15 | 01-mar-07 |
| 07030201 | 2 | 85,6 | 371,2 | 10 | 27 | 15 | 01-mar-07 |
| 07030201 | 3 | 85,6 | 370,4 | 10 | 27 | 14 | 01-mar-07 |
| 07030202 | 3 | 85,1 | 368,4 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030202 | 2 | 85,1 | 371 | 10 | 27 | 16 | 01-mar-07 |
| 07030202 | 1 | 85,1 | 367 | 10 | 27 | 16 | 01-mar-07 |
| 07030203 | 3 | 85,1 | 369,4 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030203 | 2 | 85,1 | 369,6 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030203 | 1 | 85,1 | 367,8 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030503 | 2 | 85 | 366,8 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030503 | 1 | 85 | 365,2 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030503 | 3 | 85 | 367,6 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030504 | 1 | 84,6 | 368 | 10 | 27 | 15 | 02-mar-07 |
| 07030504 | 2 | 84,6 | 365 | 10 | 27 | 15 | 03-mar-07 |
| 07030504 | 3 | 84,6 | 371,4 | 10 | 27 | 20 | 03-mar-07 |
| 07030505 | 1 | 84,7 | 364,6 | 10 | 27 | 15 | 03-mar-07 |
| 07030505 | 2 | 84,7 | 369 | 10 | 27 | 15 | 03-mar-07 |
| 07030505 | 3 | 84,7 | 369,6 | 10 | 27 | 15 | 05-mar-07 |
| 07030506 | 1 | 84,6 | 367,2 | 10 | 27 | 12 | 05-mar-07 |
| 07030506 | 2 | 84,6 | 368,6 | 10 | 27 | 13 | 05-mar-07 |
| 07030506 | 3 | 84,6 | 367,6 | 10 | 27 | 14 | 05-mar-07 |
| 07030508 | 1 | 85 | 368,2 | 10 | 27 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030508 | 2 | 85 | 370,2 | 10 | 27 | 15 | 05-mar-07 |
| 07030508 | 3 | 85 | 368 | 10 | 27 | 15 | 05-mar-07 |
| 07030601 | 1 | 84,1 | 362,6 | 12 | 27 | 12 | 06-mar-07 |
| 07030601 | 2 | 84,1 | 363,8 | 10 | 27 | 13 | 06-mar-07 |
| 07030601 | 3 | 84,1 | 366,4 | 10 | 27 | 15 | 06-mar-07 |
| 07030602 | 1 | 84,2 | 365,2 | 10 | 27 | 13 | 06-mar-07 |
| 07030602 | 2 | 84,2 | 368,8 | 10 | 27 | 13 | 06-mar-07 |
| 07030602 | 3 | 84,2 | 368,2 | 10 | 27 | 15 | 06-mar-07 |
| 07030603 | 3 | 84,4 | 365 | 10 | 26 | 15 | 06-mar-07 |
| 07030603 | 1 | 84,4 | 364 | 10 | 26 | 15 | 06-mar-07 |
| 07030603 | 2 | 84,4 | 371,8 | 10 | 26 | 15 | 06-mar-07 |
| 07030701 | 3 | 84,6 | 369 | 10 | 26 | 13 | 07-mar-07 |
| 07030701 | 2 | 84,6 | 369,2 | 10 | 26 | 13 | 07-mar-07 |
| 07030701 | 1 | 84,6 | 377,8 | 10 | 26 | 13 | 07-mar-07 |
| 07030702 | 1 | 84,1 | 365,4 | 10 | 26 | 13 | 07-mar-07 |
| 07030702 | 2 | 84,1 | 368,4 | 10 | 26 | 14 | 07-mar-07 |
| 07030702 | 3 | 84,1 | 367,8 | 10 | 26 | 15 | 07-mar-07 |
| 07030703 | 1 | 84,1 | 368,4 | 10 | 26 | 13 | 07-mar-07 |

Cont. Tabla No. 10

| | | | | | | | |
|----------|---|------|-------|----|----|----|-----------|
| 07030703 | 2 | 84,1 | 367,8 | 10 | 26 | 14 | 07-mar-07 |
| 07030703 | 3 | 84,1 | 368,4 | 10 | 26 | 15 | 07-mar-07 |
| 07030801 | 1 | 84,4 | 369,6 | 10 | 25 | 15 | 07-mar-07 |
| 07030801 | 2 | 84,4 | 369,6 | 10 | 25 | 15 | 07-mar-07 |
| 07030801 | 3 | 84,4 | 367,2 | 10 | 25 | 15 | 07-mar-07 |
| 07030802 | 2 | 84,9 | 368,8 | 10 | 25 | 13 | 08-mar-07 |
| 07030802 | 3 | 84,9 | 367,6 | 10 | 25 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030802 | 1 | 84,9 | 369,6 | 10 | 26 | 13 | 08-mar-07 |
| 07030803 | 1 | 84,5 | 369,2 | 10 | 25 | 13 | 08-mar-07 |
| 07030803 | 2 | 84,5 | 368,6 | 10 | 25 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030803 | 3 | 84,5 | 368,2 | 10 | 25 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030901 | 3 | 84,5 | 365,8 | 10 | 25 | 13 | 09-mar-07 |
| 07030901 | 1 | 84,5 | 371,2 | 10 | 25 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030901 | 2 | 84,5 | 367,4 | 10 | 25 | 14 | 08-mar-07 |
| 07030902 | 1 | 84,3 | 369,6 | 10 | 25 | 13 | 09-mar-07 |
| 07030902 | 3 | 84,3 | 368,8 | 10 | 25 | 13 | 09-mar-07 |
| 07030902 | 2 | 84,3 | 369,2 | 10 | 25 | 13 | 09-mar-07 |
| 07041801 | 1 | 85,8 | 370,4 | 10 | 25 | 15 | 18-abr-07 |
| 07041801 | 2 | 85,8 | 376,2 | 10 | 25 | 20 | 18-abr-07 |
| 07041801 | 3 | 85,8 | 364,6 | 10 | 24 | 15 | 19-abr-07 |
| 07041802 | 1 | 85,2 | 371 | 10 | 24 | 15 | 19-abr-07 |
| 07041802 | 2 | 85,2 | 370,2 | 10 | 24 | 15 | 19-abr-07 |
| 07041802 | 3 | 85,2 | 372,4 | 10 | 25 | 16 | 19-abr-07 |
| 07041901 | 1 | 84,8 | 371,6 | 10 | 25 | 15 | 19-abr-07 |
| 07041901 | 2 | 84,8 | 370,6 | 10 | 25 | 17 | 19-abr-07 |
| 07041901 | 3 | 84,8 | 370,2 | 10 | 25 | 18 | 19-abr-07 |
| 07041902 | 1 | 84,8 | 368 | 10 | 25 | 15 | 20-abr-07 |
| 07041902 | 2 | 84,8 | 370,8 | 10 | 25 | 15 | 20-abr-07 |
| 07041902 | 3 | 84,8 | 370,8 | 10 | 25 | 15 | 20-abr-07 |
| 07042001 | 1 | 85,6 | 371 | 10 | 25 | 15 | 21-abr-07 |
| 07042001 | 2 | 85,6 | 371,6 | 10 | 25 | 15 | 21-abr-07 |
| 07042001 | 3 | 85,6 | 370 | 10 | 24 | 13 | 23-abr-07 |
| 07042002 | 1 | 85,4 | 372,8 | 10 | 24 | 15 | 23-abr-07 |
| 07042002 | 2 | 85,4 | 371 | 10 | 24 | 14 | 23-abr-07 |
| 07042002 | 3 | 85,4 | 372,2 | 10 | 22 | 14 | 23-abr-07 |
| 07042101 | 1 | 85,3 | 373,2 | 10 | 22 | 15 | 23-abr-07 |
| 07042101 | 2 | 85,3 | 369,8 | 10 | 24 | 14 | 23-abr-07 |
| 07042101 | 3 | 85,3 | 372,8 | 10 | 24 | 19 | 24-abr-07 |
| 07042102 | 1 | 85,7 | 372,8 | 10 | 24 | 14 | 24-abr-07 |
| 07042102 | 2 | 85,7 | 371,8 | 10 | 24 | 14 | 24-abr-07 |

Cont. Tabla No. 10

| | | | | | | | |
|----------|---|------|-------|----|----|----|-----------|
| 07042102 | 3 | 85,7 | 373,4 | 10 | 23 | 14 | 24-abr-07 |
| 07042302 | 1 | 85,9 | 371,6 | 10 | 23 | 16 | 24-abr-07 |
| 07042302 | 2 | 85,9 | 374 | 10 | 23 | 14 | 25-abr-07 |
| 07042302 | 3 | 85,9 | 374,2 | 10 | 23 | 15 | 25-abr-07 |
| 07042401 | 1 | 86 | 371,8 | 10 | 23 | 15 | 25-abr-07 |
| 07042401 | 2 | 86 | 373,2 | 10 | 23 | 16 | 25-abr-07 |
| 07042401 | 3 | 86 | 373,2 | 10 | 23 | 15 | 25-abr-07 |
| 07042402 | 1 | 85,9 | 374,4 | 10 | 23 | 15 | 25-abr-07 |
| 07042402 | 2 | 85,9 | 373,2 | 10 | 23 | 15 | 25-abr-07 |
| 07042402 | 3 | 85,9 | 373,4 | 10 | 23 | 16 | 25-abr-07 |
| 07042403 | 1 | 86,1 | 373,2 | 10 | 23 | 16 | 25-abr-07 |
| 07042403 | 2 | 86,1 | 373,2 | 10 | 23 | 14 | 26-abr-07 |
| 07042403 | 3 | 86,1 | 371,8 | 10 | 23 | 14 | 26-abr-07 |
| 07042501 | 1 | 85,6 | 373,6 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042501 | 2 | 85,6 | 372 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042501 | 3 | 85,6 | 370,2 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042502 | 1 | 85,7 | 375 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042502 | 2 | 85,7 | 372,7 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042502 | 3 | 85,7 | 371,6 | 10 | 23 | 15 | 26-abr-07 |
| 07042601 | 1 | 85,8 | 370,6 | 10 | 23 | 14 | 27-abr-07 |
| 07042601 | 2 | 85,8 | 371 | 10 | 23 | 15 | 27-abr-07 |
| 07042601 | 3 | 85,8 | 373,4 | 10 | 23 | 14 | 27-abr-07 |
| 07042602 | 1 | 85,8 | 373 | 10 | 23 | 14 | 27-abr-07 |
| 07042602 | 2 | 85,8 | 374,8 | 10 | 23 | 14 | 27-abr-07 |
| 07042602 | 3 | 85,8 | 371,4 | 10 | 23 | 15 | 27-abr-07 |
| 07042603 | 1 | 84,9 | 373 | 10 | 23 | 14 | 28-abr-07 |
| 07042603 | 2 | 84,9 | 371,4 | 10 | 23 | 15 | 28-abr-07 |
| 07042603 | 3 | 84,9 | 371,4 | 10 | 23 | 15 | 28-abr-07 |
| 07042701 | 1 | 85,9 | 373,2 | 10 | 23 | 14 | 30-abr-07 |
| 07042701 | 2 | 85,9 | 371 | 10 | 23 | 14 | 30-abr-07 |
| 07042701 | 3 | 85,9 | 371 | 10 | 23 | 14 | 30-abr-07 |
| 07042702 | 1 | 85,6 | 372,8 | 10 | 23 | 16 | 30-abr-07 |
| 07042702 | 2 | 85,6 | 371,2 | 10 | 23 | 14 | 30-abr-07 |
| 07042702 | 3 | 85,6 | 373 | 10 | 23 | 14 | 02-may-07 |
| 07043001 | 1 | 85,9 | 372,4 | 10 | 23 | 14 | 02-may-07 |
| 07043001 | 2 | 85,9 | 372,4 | 10 | 23 | 15 | 02-may-07 |
| 07043001 | 3 | 85,9 | 372,5 | 10 | 23 | 15 | 02-may-07 |
| 07043002 | 1 | 85,5 | 372,8 | 10 | 23 | 16 | 02-may-07 |

Cont. Tabla No. 10

| | | | | | | | |
|----------|---|------|-------|----|----|----|-----------|
| 07043002 | 2 | 85,5 | 371,2 | 10 | 23 | 18 | 02-may-07 |
| 07043002 | 3 | 85,5 | 372,2 | 10 | 23 | 18 | 02-may-07 |
| 07050201 | 1 | 85,6 | 370,4 | 10 | 23 | 17 | 02-may-07 |
| 07050201 | 2 | 85,6 | 372,6 | 10 | 23 | 16 | 02-may-07 |
| 07050201 | 3 | 85,6 | 371,6 | 10 | 23 | 18 | 03-may-07 |
| 07050202 | 1 | 85,8 | 371 | 10 | 23 | 18 | 03-may-07 |
| 07050202 | 2 | 85,8 | 371 | 10 | 23 | 18 | 03-may-07 |
| 07050202 | 3 | 85,8 | 372,2 | 10 | 23 | 19 | 03-may-07 |
| 07050203 | 1 | 85,8 | 371,2 | 10 | 23 | 18 | 04-may-07 |
| 07050203 | 2 | 85,8 | 371,2 | 10 | 23 | 16 | 04-may-07 |
| 07050203 | 3 | 85,8 | 372,4 | 10 | 23 | 16 | 04-may-07 |

3. Filtro B

Tabla No.11
Datos obtenidos en pruebas con filtro B

| LOTE | Sub lote | % bicarbonato (Lote completo) | Peso final | tiempo precalentamiento (min) | tiempo carbonatacion (min) | tiempo enfriamiento (min) | Fecha carbonatación |
|----------|----------|-------------------------------|------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 07050301 | 1 | 86,6 | 374,4 | 10 | 23 | 16 | 04-may-07 |
| 07050301 | 2 | 86,6 | 371,8 | 8 | 25 | 16 | 05-may-07 |
| 07050301 | 3 | 86,6 | 370 | 8 | 25 | 17 | 05-may-07 |
| 07050302 | 1 | 85,9 | 370,8 | 8 | 25 | 16 | 05-may-07 |
| 07050302 | 2 | 85,9 | 371,2 | 8 | 25 | 17 | 05-may-07 |
| 07050302 | 3 | 85,9 | 372,4 | 8 | 25 | 17 | 05-may-07 |
| 07050401 | 1 | 86,1 | 373,6 | 8 | 25 | 18 | 05-may-07 |
| 07050401 | 2 | 86,1 | 371,6 | 8 | 25 | 17 | 06-may-07 |
| 07050401 | 3 | 86,1 | 371,2 | 8 | 25 | 18 | 06-may-07 |
| 07050501 | 1 | 86,3 | 370,8 | 8 | 25 | 17 | 06-may-07 |
| 07050501 | 2 | 86,3 | 371,8 | 8 | 25 | 17 | 06-may-07 |
| 07050501 | 3 | 86,3 | 371,8 | 8 | 25 | 17 | 06-may-07 |
| 07050502 | 1 | 86,5 | 372 | 8 | 25 | 17 | 07-may-07 |
| 07050502 | 2 | 86,5 | 372,6 | 8 | 25 | 16 | 07-may-07 |
| 07050502 | 3 | 86,5 | 371 | 8 | 25 | 17 | 07-may-07 |
| 07050601 | 1 | 86,4 | 373,8 | 8 | 25 | 17 | 07-may-07 |
| 07050601 | 2 | 86,4 | 372 | 8 | 25 | 17 | 07-may-07 |
| 07050601 | 3 | 86,4 | 373,2 | 8 | 24 | 18 | 07-may-07 |
| 07050602 | 1 | 87,1 | 372,6 | 8 | 24 | 17 | 07-may-07 |

Cont. Tabla No. 11

| | | | | | | | |
|----------|---|------|-------|---|----|----|-----------|
| 07050602 | 2 | 87,1 | 370,8 | 8 | 24 | 17 | 08-may-07 |
| 07050602 | 3 | 87,1 | 374,4 | 8 | 24 | 17 | 08-may-07 |
| 07050701 | 1 | 87 | 372,6 | 8 | 24 | 17 | 08-may-07 |
| 07050701 | 2 | 87 | 373 | 8 | 24 | 17 | 08-may-07 |
| 07050701 | 3 | 87 | 372,2 | 8 | 24 | 16 | 08-may-07 |
| 07050702 | 1 | 86,8 | 372,8 | 8 | 24 | 17 | 09-may-07 |
| 07050702 | 2 | 86,8 | 374,2 | 8 | 24 | 16 | 09-may-07 |
| 07050702 | 3 | 86,8 | 373,2 | 8 | 24 | 16 | 09-may-07 |
| 07050801 | 1 | 87,2 | 369,5 | 8 | 24 | 16 | 09-may-07 |
| 07050801 | 2 | 87,2 | 372,2 | 8 | 24 | 17 | 09-may-07 |
| 07050801 | 3 | 87,2 | 373,4 | 8 | 24 | 16 | 09-may-07 |
| 07050802 | 1 | 86,9 | 373,2 | 8 | 24 | 16 | 10-may-07 |
| 07050802 | 2 | 86,9 | 372,5 | 8 | 24 | 17 | 10-may-07 |
| 07050802 | 3 | 86,9 | 372,8 | 8 | 24 | 17 | 10-may-07 |

4. Análisis económico

Tabla No.12
Datos de caldera

| | |
|--|---------------------------|
| Consumo de agua de la caldera | 1.0 m ³ /h |
| Consumo promedio diario de diesel | 0.946 m ³ /día |
| Horas diarias de operación | 12 h |
| Precio por galón de diesel (mayo 2007) | Q21.29 |
| Precio por m ³ de agua | Q 5.60 |

Tabla No.13
Datos de horno de cama fluida

| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| Volumen de entrada de aire | 11044.0 m ³ /h |
| Temperatura de entrada de aire | 22°C |
| Temperatura de entrada de aire | 110°C |
| Cp a 22°C | 1.00 kJ/(kg °C) |
| Precio por kWh (enero 2007) | Q1.305613 |

D. Datos calculados:

Tabla No.14
Datos calculados para el 2006

| | % bicarbonato en disminución | % bicarbonato en aumento | % bicarbonato sin tendencia |
|---|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| % Semanas con tiempo de carbonatación de 27 min | 47 | 21 | 32 |
| Semanas con tiempo de carbonatación de 26 min | 56 | 33 | 11 |

Tabla No.15
Filtro original

| | | |
|------------------------|----------|-----------------|
| Altura cono completo | 140 | cm ² |
| Área cono completo | 4631,1 | cm ² |
| Área cono superior | 850,6 | cm ² |
| Área real una manga | 3780,5 | cm ² |
| Área total de filtrado | 124756,5 | cm ² |
| | 12,48 | m ² |

Figura 6
Plano filtro original

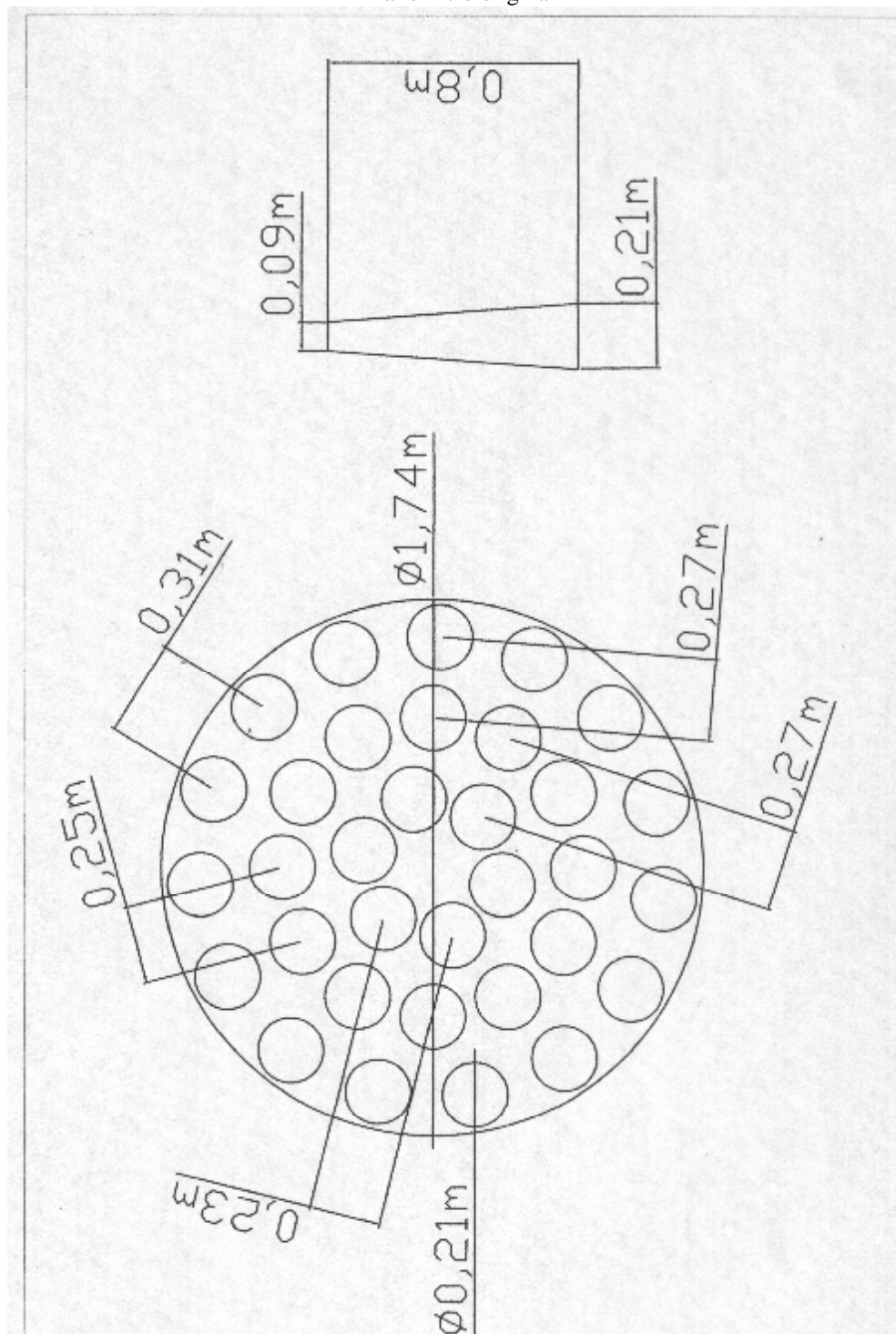


Figura 7
Plano filtro B

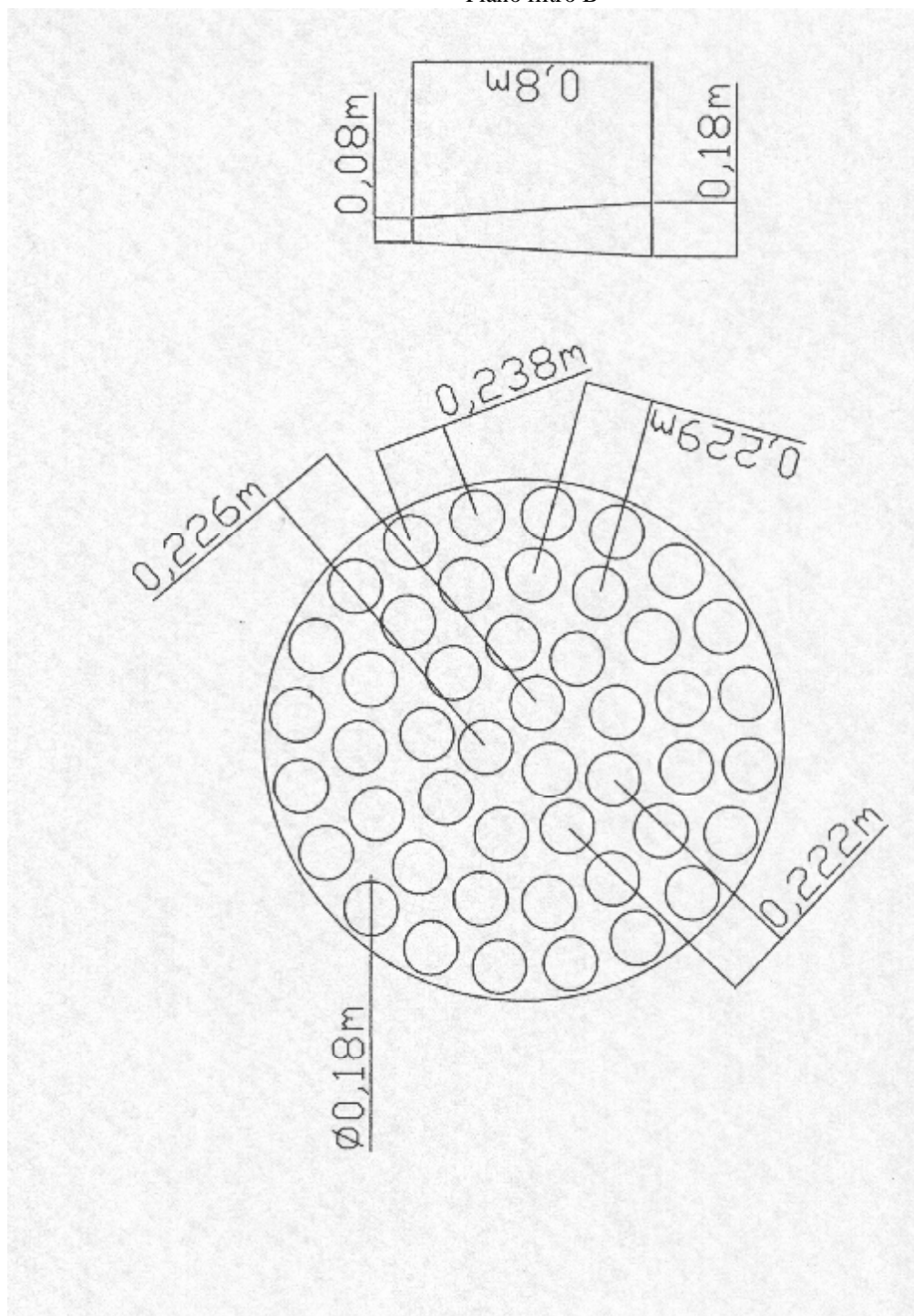


Tabla No.16
Filtro A

| | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Mangas | 33 | |
| Diámetro manga | 21 | cm |
| Altura | 80 | cm |
| Área lateral una manga | 5277,9 | cm ² |
| Área lateral total | 174169,9 17,42 | cm ² m ² |

Tabla No.17
Filtro B

| | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Diámetro base manga | 18 | cm |
| Diámetro arriba manga | 8 | cm |
| Altura | 80 | cm |
| Diámetro total filtro | 174 | cm |
| Área cono completo | 3966,6 | cm ² |
| Área cono superior | 755,7 | cm ² |
| Mangas cónicas | 47 | |
| Área real una manga | 3210,9 | cm ² |
| Área total de filtrado | 150913,3 15,09 | cm ² m ² |

Tabla No.18
Filtro C

| | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Mangas cilíndricas | 47 | |
| Diámetro manga | 18 | cm |
| Altura | 80 | cm |
| Área lateral una manga | 4523,9 | cm ² |
| Área lateral total | 212623,0 21,26 | cm ² m ² |

Tabla No. 19
Aumento de área según el número de mangas y diámetro (%)

| No. Mangas | CÓNICA | | | CILÍNDRICA | | |
|------------|---------------------------|-----------|----------|------------|-----------|----|
| | Diámetro de la manga (cm) | | | | | |
| | 21 | 18 | 15 | 21 | 18 | 15 |
| 33 | 0 | -15 | -29 | 40 | 20 | 0 |
| 34 | 3 | -12 | -27 | 44 | 23 | 3 |
| 35 | 6 | -10 | -25 | 48 | 27 | 6 |
| 36 | 9 | -7 | -22 | 52 | 31 | 9 |
| 37 | 12 | -5 | -20 | 57 | 34 | 12 |
| 38 | 15 | -2 | -18 | 61 | 38 | 15 |
| 39 | 18 | 0 | -16 | 65 | 41 | 18 |
| 40 | 21 | 3 | -14 | 69 | 45 | 21 |
| 41 | 24 | 6 | -12 | 73 | 49 | 24 |
| 42 | 27 | 8 | -9 | 78 | 52 | 27 |
| 43 | 30 | 11 | -7 | 82 | 56 | 30 |
| 44 | 33 | 13 | -5 | 86 | 60 | 33 |
| 45 | 36 | 16 | -3 | 90 | 63 | 36 |
| 46 | 39 | 18 | -1 | 95 | 67 | 39 |
| 47 | 42 | 21 | 1 | 99 | 70 | 42 |
| 48 | | 24 | 3 | | 74 | 45 |
| 49 | | 26 | 6 | | 78 | 48 |
| 50 | | 29 | 8 | | 81 | 51 |
| 51 | | 31 | 10 | | 85 | 54 |
| 52 | | 34 | 12 | | 89 | 57 |
| 53 | | | 14 | | | 60 |
| 54 | | | 16 | | | 63 |
| 55 | | | 19 | | | 66 |
| 56 | | | 21 | | | 69 |
| 57 | | | 23 | | | 72 |
| 58 | | | 25 | | | 75 |
| 59 | | | 27 | | | 78 |
| 60 | | | 29 | | | 81 |

Tabla No.20
Análisis sin reemplazo

| Costos variables | cantidad/año | valor (Q) | egresos | |
|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------|-------|
| Diesel (gal) | 12100,18 | 21,29 | 257612,75 | Q/año |
| Energía eléctrica (kwh) | 43650,75 | 1,305613 | 56990,99 | Q/año |
| Agua (m ³) | 1322,90 | 5,6 | 7408,26 | Q/año |
| Bicarbonato de sodio perdido (kg) | 74431,5 | 2,54 | 189056,01 | Q/año |
| | | | 511068,01 | Q/año |

Tabla No.21
Análisis con reemplazo

| Costos variables | cantidad/año | valor (Q) | total egresos | |
|-----------------------------------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Diesel (gal) | 10792,05 | 21,29 | 229762,73 | Q/año |
| Energía eléctrica (kwh) | 38253,93 | 1,305613 | 49944,83 | Q/año |
| Agua (m ³) | 1179,89 | 5,6 | 6607,37 | Q/año |
| Bicarbonato de sodio perdido (kg) | 70141,5 | 2,54 | 178159,41 | Q/año |
| | | | 464474,34 | Q/año |

Tabla No. 22
Inversión

| Descripción | Cantidad | Costo (Q) | Total (Q) |
|-------------|----------|-----------|-------------|
| Filtros | 3 | 2200 | 6600 |
| Análisis | 29 | 28 | 812 |
| | | | 7412 |

Tabla No. 23
Tasa (%)

| | |
|---------------|----|
| Banco | 12 |
| Inflación | 9 |
| Factor riesgo | 5 |
| Total | 26 |

E. Cálculo de muestra:

1. Cálculo filtros:

Filtro Original:

$$areacono = p * r * \sqrt{(h^2 + r^2)} = p * \frac{21cm}{2} * \sqrt{(140^2 + \left(\frac{21}{2}\right)^2)} cm^2 = 4631.1cm^2$$

$$areacono_{superior} = p * \frac{9cm}{2} * \sqrt{\left((140 - 80)^2 + \left(\frac{9}{2}\right)^2\right)} cm^2 = 850.6cm^2$$

$$areamanga_{real} = 4631.1cm^2 - 850.6cm^2 = 3780.5 \frac{cm^2}{manga}$$

$$areatotal_{filtro} = 3780.5 \frac{cm^2}{manga} * 33mangas = 124756.5cm^2 * \left(\frac{1m}{100cm}\right)^2 = 12.48m^2$$

De la misma manera se calculó el área de filtrado para el filtro B.

Filtro A:

$$arealateral_{manga} = 2 * p * h * r = 2 * p * 80cm * \frac{21cm}{2} = 5277.9 \frac{cm^2}{manga}$$

$$areatotal_{filtro} = 5277.9 \frac{cm^2}{manga} * 33mangas = 174169.9cm^2 * \left(\frac{1m}{100cm}\right)^2 = 17.42m^2$$

De la misma manera se calculó el área para el filtro C.

Porcentaje de aumento de área:

$$\% area = \frac{filtroA}{filtroOriginal} = \frac{17.42}{12.48} - 1 * 100 = 40\%$$

Cálculo de caldera:

$$BHP = \frac{GHP * 8.33 \frac{lb}{gal} * (H_g - H_f)}{33475}$$

Donde:

BHP = potencia de la caldera en hp.

GHP = Galones de agua consumidos en una hora.

8.33 lb/gal = peso de un galón de agua.

H_g = entalpía del líquido saturado a 70°F

H_f = entalpía del vapor saturado a 120 psi

$$GHP = 1.0 \frac{m^3}{h} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1gal}{3.785L} = 265.55 \frac{gal}{h}$$

$$BHP = \frac{265.55 \frac{gal}{h} * 8.33 \frac{lb}{gal} * (1191.1 - 38.09) \frac{Btu}{lb}}{33475} = 75.80hp$$

Producción de vapor:

$$W = 34.5 * BHP \frac{970.3}{(H_g - H_f)}$$

$$W = 34.5 * 75.81hp \frac{970.3}{(1191.1 - 38.09) \frac{Btu}{lb}} = 2200.8 \frac{lb}{h}$$

El consumo promedio del combustible al día es 250 gal/día (0.946m³/día) en 12 horas de operación:

$$\frac{2201.8 \frac{lb}{h}}{250 \frac{gal}{día}} * \frac{12h}{1día} = 105.6 \frac{lb}{gal}$$

2. Consumo de diesel para el horno de cama fluida:

Datos:

V = volumen de entrada de aire 6500ft³/min (11044.0 m³/h)

T₁ = Temperatura del aire de entrada

T₂ = Temperatura del aire de salida

P = Presión de vapor a 110 psi

Masa de aire entrando:

$$m = \dot{V} * r$$

$$r_{230^{\circ}F} = 0.0576 \frac{lb}{ft^3}$$

$$m = 6500 \frac{ft^3}{min} * 0.0576 \frac{lb}{ft^3} * \frac{60 min}{1h} = 22464 \frac{lb}{h}$$

Energía requerida para calentar el aire en el serpentín

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta T$$

Donde:

Q = calor requerido en Btu/h

m = flujo másico

Cp = Calor específico

ΔT= diferencia de temperatura

$$Q = 22464 \frac{lb}{h} * 0.0576 \frac{lb}{ft^3} * (230 - 71.6)^{\circ}C = 853991.42 \frac{Btu}{h}$$

Energía cedida por el vapor al aire en el secador:

$$Q = H_{vap} * H_{liq} = (1189.6 - 305.88) \frac{Btu}{lb} = 883.72 \frac{Btu}{lb}$$

Donde:

H_g= entalpía del líquido saturado a 110 psi

H_f= entalpía del vapor saturado a 110 psi

$$Consumovapor = \frac{Q_{aire}}{Q_{vap}} = \frac{853991.42 \frac{Btu}{h}}{826.10 \frac{Btu}{lb}} = 966.36 \frac{lb}{h}$$

$$\frac{\text{Consumo}}{h} = \frac{966.36 \frac{lb}{h}}{105.6 \frac{lb}{gal}} = 9.15 \frac{gal}{h}$$

Para un tiempo de carbonatación de 27 minutos y 10 minutos de calentamiento:

$$\text{Consumo}_{\text{sublote}} = \frac{\text{consumo}}{h} * \frac{\text{tiempo}}{\text{sublote}} = 9.15 \frac{gal}{h} * \frac{37 \text{ min}}{1 \text{ sublote}} * \frac{1h}{60 \text{ min}} = 5.64 \frac{gal}{\text{sublote}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}}_{\text{diesel}} = 5.64 \frac{gal}{\text{sublote}} * \frac{195 \text{ sublotes}}{1 \text{ mes}} * \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{Q21.29}{gal} = \frac{Q257612.80}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}}_{\text{diesel}} = 0.0214 \frac{m^3}{\text{sublote}} * \frac{195 \text{ sublotes}}{1 \text{ mes}} * \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{Q5624.18}{m^3} = \frac{Q257612.80}{\text{año}}$$

Se realizó el mismo cálculo para un tiempo de carbonatación de 23 minutos y 10 minutos de calentamiento.

3. Energía:

El valor por Kwh cobrado en el mes de enero fue 1.305613 Q/kwh.

Para la manejadora que alimenta aire al horno de cama fluida con consumo de 7 kW y el horno de cama fluida consume 15.2 kW, ambos se mantienen encendidos durante todo el proceso:

$$\text{consumo}_{27 \text{ min}} = (7.0 + 15.2)kW * \frac{55 \text{ min}}{\text{sublote}} * \frac{195 \text{ sublotes}}{1 \text{ mes}} * \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{1h}{60 \text{ min}} = 43650.75 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$\text{costo}_{\text{anual}}_{27 \text{ min}} = 1.305613 \frac{Q}{kWh} * 43650.75 \frac{kWh}{\text{año}} = \frac{Q56,990.99}{\text{año}}$$

Se realizó el mismo cálculo para la carbonatación de 23 minutos, en la que el tiempo total de operación fue 48.2 minutos.

4. Agua:

$$\text{consumo}_{\text{agua}} = 264.2 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * \frac{37 \text{ min}}{\text{sublote}} * \frac{195 \text{ sublotes}}{1 \text{ mes}} * \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 349471.60 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

$$349471.60 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ m}^3}{264.17 \text{ gal}} = 1322.9 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{costo}_{\text{agua}} = 1322.9 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * \frac{Q50.00}{\text{m}^3} = \frac{Q66145.21}{\text{año}}$$

Se calculó de la misma manera para la carbonatación de 23 minutos y 10 minutos de calentamiento.

5. Bicarbonato de sodio:

Precio por kg de bicarbonato de sodio: Q2.54

$$\frac{\text{Perdidas}_{\text{NaHCO}_3}}{\text{sublote}} = 405.0 \text{ kg} - 370.3 \text{ kg} = 34.7 \frac{\text{kg perdido}}{\text{sublote}}$$

$$\text{perdidas}_{\text{NaHCO}_3} = 34.7 \frac{\text{kg perdido}}{\text{sublote}} * \frac{195 \text{ sublotes}}{1 \text{ mes}} * \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 74431.5 \frac{\text{kg perdido}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{NaHCO}_3} = 74431.5 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \frac{Q2.54}{\text{kg}} = \frac{Q189056.01}{\text{año}}$$

Se calculó de la misma manera para los lotes carbonatados a 23 minutos. En promedio la pérdida de bicarbonato de sodio para estos lotes fue 32.7 kg.

6. Tamaño de partícula

Tabla No. 24
Especificaciones bicarbonato de sodio

| Estándar que debe cumplir | % |
|---------------------------|-------|
| En el mesh 60 | 0-8 |
| En el mesh 100 | 43-58 |
| A través del mesh 170 | 0-10 |
| Acumulativo 60 y 100 | 46-66 |

Tabla No. 25
Tamaño de partícula para diferentes lotes de bicarbonato de sodio

| Lote | Porcentaje retenido. Diff % | | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------|-----------|---------|----------|
| | Mesh # (micron) | | | | |
| | 200 (75) | 170 (90) | 100 (150) | 60(250) | 50 (300) |
| 07021301-3 crudo | 3,56 | 3,89 | 43,5 | 46,66 | 2,38 |
| 07021302-2 crudo | 6,21 | 3,03 | 37,22 | 49,91 | 3,24 |
| 07021303-1 crudo | 7,24 | 6,00 | 37,63 | 46,5 | 2,44 |
| 07022703-1 crudo | 5,41 | 4,61 | 45,74 | 43,16 | 1,08 |
| 070301°01-3 crudo | 3,07 | 3,26 | 44,43 | 46,82 | 1,54 |
| 07030103-3 crudo | 5,02 | 4,31 | 41,4 | 46,91 | 2,31 |
| 07022803-2 crudo | 3,92 | 3,56 | 42,41 | 49,26 | 0,72 |
| 07030603-1 crudo | 3,71 | 2,49 | 41,66 | 50,87 | 1,27 |
| 07030701-2 crudo | 4,41 | 4,7 | 46,52 | 43,46 | 0,76 |
| Promedio | 4,7 | 4,0 | 41,9 | 47,4 | 1,7 |
| Desviación estándar | 1,4 | 1,1 | 3,5 | 3,3 | 0,9 |

F. Glosario

1. Calcinación: En el ámbito farmacéutico se conoce como el proceso de elevar la temperatura del bicarbonato de sodio en un horno de cama fluida o similar, de manera que éste se carbonate.