



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CONTROL DE LA INVERSIÓN DE LA SACAROSA EN EL PROCESO DE
ELABORACIÓN DE JARABE SIMPLE DE BEBIDAS CARBONATADAS**

Luis Carlos Jeréz López

Asesorado por el Ing. Julio Gabriel López Mazín

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL DE LA INVERSIÓN DE LA SACAROSA EN EL PROCESO DE
ELABORACIÓN DE JARABE SIMPLE DE BEBIDAS CARBONATADAS**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

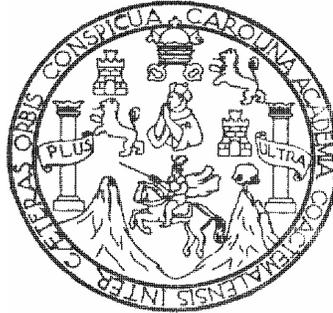
LUIS CARLOS JERÉZ LÓPEZ
ASESORADO POR EL ING. JULIO GABRIEL LÓPEZ MAZÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CONTROL DE LA INVERSIÓN DE LA SACAROSA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE JARABE SIMPLE DE BEBIDAS CARBONATADAS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 13 de mayo de 2008.

Luis Carlos Jeréz López

AGRADECIMIENTOS A:

Mi familia

Por el cariño, apoyo, confianza y amor que depositaron en mí durante estos años de estudio.

Mis amigos

Por su valiosa amistad y por compartir conmigo buenos momentos que siempre llevaré en mi corazón.

Compañeros de trabajo

Ing. Rodolfo Estrada, Ing. Julio López, Ing. Sergio Perdomo y Licda. Dalia Menchú. Por sus consejos, colaboración, apoyo y compañerismo durante la realización de este trabajo de graduación.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Por ser mi guía y mi fuente de inspiración, y por darme la sabiduría y fortaleza para poder alcanzar este triunfo.

Mis padres Carlos Humberto Jeréz y Clara Azucena López. Porque gracias a su amor, consejos y apoyo, he llegado a alcanzar uno de los logros más grandes de mi vida.

Andrea Lehr Por brindarme todo su amor, amistad y apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. AZÚCARES	1
1.1 Sacarosa	2
1.1.1 Propiedades físicas y químicas	3
1.1.2 Inversión de la sacarosa	4
1.2 Glucosa	7
1.3 Fructosa	8
1.4 Azúcares reductores	9
1.5 Prueba de Fehling	10
2. JARABE SIMPLE	11
2.1 Elaboración de jarabe simple	11
3. OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DE JARABE SIMPLE	15
3.1 Transporte de sólidos	15
3.1.2 Elevador de cangilones	17
3.2 Mezclado	17
3.3 Transferencia de calor	19

3.1.1	Conducción	20
3.1.2	Convección	20
3.1.3	Radiación	21
3.4	Adsorción	22
3.4.1	Factores que influyen en la adsorción	24
3.4.1.1	Sistema adsorbente-adsorbato	24
3.4.1.2	Condiciones del medio	25
3.4.1.3	Factores económicos	25
3.4.2	Carbón activado	26
3.5	Filtración	27
3.5.1	Mecanismos de filtración	29
3.5.1.1	Filtración por superficie	29
3.5.1.2	Filtración profunda	29
3.5.1.3	Filtración por torta	30
3.5.1.4	Permeabilidad	30
3.5.2	Medio Filtrante	31
3.5.3	Equipos de filtración	31
3.5.3.1	Filtro de cartuchos	32
3.5.3.2	Filtro de arena	32
3.5.3.3	Lecho de filtración	32
3.5.3.1	Filtros prensa de placas y marcos	33
4.	METODOLOGÍA	35
4.1	Metodología de investigación	35
4.1.2	Recursos	35
4.1.2.1	Institucionales	35
4.1.2.2	Humanos	35
4.1.2.3	Físicos	35
4.1.2.3.1	Equipo	35

4.1.2.3.2	Cristalería y accesorios	36
4.1.2.3.3	Reactivos	36
4.2	Metodología experimental	37
4.2.1	Análisis de azúcar granular	37
4.2.1.1	Procedimiento descriptivo	37
4.2.2	Efecto de la acidez del carbón activado sobre el jarabe simple	38
4.2.2.1	Procedimiento descriptivo	38
4.2.3	Determinación de azúcares reductores	38
4.2.3.1	Procedimiento descriptivo	39
4.2.4	Control de la temperatura y tiempo de residencia de la disolución en el tanque de jarabe simple	40
4.2.5	Evaluación de las variables que provocan la inversión de la sacarosa	40
4.2.5.1	Procedimiento descriptivo	40
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	BIBLIOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura y configuración de la sacarosa	2
2.	Inversión de la sacarosa por hora a diferentes temperaturas y pH	5
3.	Estructura de la glucosa	7
4.	Proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas	13
5.	Diagrama de bloques de la elaboración de jarabe simple	14
6.	Comparación de la pureza del azúcar granular proveniente de dos ingenios diferentes	42
7.	Influencia del carbón activado en polvo sobre la acidez del jarabe simple	43
8.	Porcentaje de inversión de diferentes lotes de jarabe simple	45
9.	Porcentaje de inversión de jarabe simple a diferentes condiciones de operación	47
10.	Comparación de los porcentajes de inversión en los procesos de elaboración de jarabe simple	48

TABLAS

I	Dulzor relativo de los azúcares en solución al 10%	3
II	Poder inversor de diferentes ácidos	6
III	Pureza y humedad del azúcar granular	41
IV	Control de las condiciones de operación en tanques de jarabe simple	44
V	Porcentaje de inversión de jarabe simple a 70 °C en función del tiempo y pH	46
VI	Porcentaje de inversión de jarabe simple a 80 °C en función del tiempo y pH	46
VII	Estadística de la regresión múltiple para las condiciones de operación en tanque de jarabe simple	49
VIII	Modelo de regresión múltiple	49

LISTA DE SÍMBOLOS

[α]	Rotación específica
°C	Grados Celcius
%	Porcentaje
+	Rotación en el mismo sentido que giran las manecillas del reloj
-	Rotación en sentido opuesto a las manecillas del reloj
pH	Potencial de hidrógeno
mL	Mililitro (s)
gr	Gramo (s)
Ag	Símbolo elemental de la plata
Cu	Símbolo elemental del cobre
T	Temperatura

GLOSARIO

Aldosas	Carbohidrato con grupo funcional aldehído.
Ayuda Filtrante	Material de celulosa o tierra diatomácea utilizada como medio de filtración.
Caramelización	Descomposición de azúcar o azúcares a temperaturas elevadas, con una deshidratación y polimerización de las moléculas deshidratadas y la formación de moléculas complejas.
Cetosas	Carbohidrato con un grupo funcional cetona.
Dextrorrotatorio	Palabra que se usa para describir una sustancia ópticamente activa, que hace rotar el plano de polarización de la luz polarizada en un plano en dirección hacia la derecha, (en el mismo sentido que giran las manecillas del reloj).
Dulzor relativo	Es aquel sabor comparado con el azúcar de mesa o sacarosa, el cual se considera igual a 100.

Enlace glucosídico	Enlace característico mediante el cual se unen monosacáridos para formar disacáridos o polisacáridos.
Flóculo	Sólido insoluble de apariencia gelatinosa que se forma en soluciones azucaradas de pH ácido.
Hidrólisis	Reacción con agua para dar un ácido carboxílico.
Levorrotatorio	Sustancia ópticamente activa que hace rotar el plano de polarización de la luz polarizada en un plano, en dirección hacia la mano izquierda (en sentido opuesto a las manecillas del reloj).
Mutorrotación	Cambio de la rotación específica de una solución de un carbohidrato en el tiempo.
Osazona	Cada uno de los compuestos cristalinos resultantes de la acción de un exceso de fenilhidracina.
Polarímetro	Instrumento óptico para medir la rotación o el giro de la luz.

Reducción

Reacción que causa un aumento de los electrones que tienen un carbono, ya sea por ruptura de enlaces entre el carbono y un átomo más electro-negativo o por la formación de un enlace entre el carbono y un átomo menos electro-negativo.

Rotación específica

Rotación angular obtenida en condiciones de medición estándar: concentración, longitud del tubo, temperatura y longitud de onda.

Sedimento

Material que tras haber estado suspendido en un líquido, se posa en el fondo del recipiente que lo contiene.

Tierra Diatomácea

Restos fósiles de los diatomáceos, alga marina pequeña con paredes de célula silíceas, encontrados en grandes depósitos en muchas partes del mundo.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se llevó a cabo un análisis para determinar las causas que provocaban la inversión de la sacarosa en el proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas.

Para solucionar el problema de la inversión de la sacarosa, se analizó la pureza del azúcar granular para comprobar que la materia prima que se estaba utilizando tuviera arriba del 99.6 % de sacarosa, y de esta manera, tener la certeza que dicho azúcar no contenía cenizas, humedad y azúcar invertido, ya que de lo contrario afectaría la cantidad de sacarosa presente en el jarabe simple.

Además, se determinó la influencia del carbón activado en polvo sobre la acidez del jarabe simple y se controlaron las condiciones de operación de diferentes lotes de jarabe, para establecer en qué magnitud se invertía la sacarosa.

Por medio de la evaluación de las diferentes variables involucradas en el proceso de elaboración de jarabe simple, se logró determinar que los lotes que se encontraban expuestos a temperaturas superiores a 75°C durante más de cuatro horas a un pH inferior a 5.5, presentaban una inversión de la sacarosa arriba del 5 %.

A partir de los resultados obtenidos, se tomaron las acciones correctivas necesarias para disminuir el porcentaje de inversión de la sacarosa en el jarabe simple, disminuyendo en un 100% los lotes que se encontraban fuera de especificación.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Controlar los parámetros y condiciones de operación en el proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas, y determinar cuál está provocando la inversión de la sacarosa en dicho jarabe.

- **ESPECÍFICOS**

1. Analizar la pureza del azúcar granular utilizada como materia prima, previo a introducirse en el proceso de elaboración de jarabe simple.
2. Determinar si el carbón activado en polvo utilizado en el proceso, afecta la acidez del jarabe simple.
3. Controlar la temperatura y tiempo de residencia en tanque de jarabe, para establecer por medio de un análisis de azúcares reductores, en que magnitud se invierte la sacarosa.
4. Evaluar cual de las variables involucradas en el proceso de elaboración de jarabe simple, provoca mayor incremento en la inversión de la sacarosa.
5. Implementar acciones correctivas para disminuir la inversión de la sacarosa en la elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen varias empresas que se dedican a elaborar bebidas carbonatadas, que tienen como objetivo entregar un producto con altos estándares de calidad, para lo cual deben medir y controlar cada una de las etapas del proceso de elaboración, y de esta manera poder controlar las variables que puedan afectar las características del producto final.

Una de las etapas más importantes en la fabricación de bebidas carbonatadas, es la elaboración de jarabe simple, la cual consiste básicamente en una mezcla de agua y azúcar, que puede ser preparada a partir de azúcar granular, azúcar líquido, jarabe de alta fructosa derivada del almidón, o alguna mezcla de estos edulcorantes.

En este proceso se introducen variables tales como temperatura y acidez, que de no ser controladas, provocan la inversión de la sacarosa en el jarabe simple, y de acuerdo al estándar de manufactura de bebidas carbonatadas, ésta no debe sobrepasar el 5 %; de ser mayor, implicaría un problema de alta magnitud, debido a que se alterarían las características del producto final.

Cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos de la investigación, se pudo determinar que en las condiciones en que se operaba, no eran las más adecuadas, por lo que se tomaron las acciones correctivas necesarias para

disminuir la problemática de la inversión, y de esta manera continuar manteniendo la calidad del producto final, como las expectativas del consumidor.

1. AZÚCARES

Los azúcares están clasificados químicamente como carbohidratos, grupo numeroso y ampliamente diseminado de sustancias naturales que se caracterizan por ser compuestos de carbono combinado con oxígeno e hidrógeno, en las proporciones que se requieren para formar agua. No son hidratos en el sentido estricto de este término; estructuralmente, son compuestos de cadenas de carbono, más frecuentemente de 5 ó 6 átomos de longitud; o productos inferiores de condensación de tales compuestos.

Los monosacáridos son los más simples de estos compuestos y comprenden sustancias tales como las pentosas y las hexosas, formadas por cadenas de 5 y 6 carbonos, respectivamente. Las triosas (tres carbonos), las tetrosas (cuatro carbonos), y las heptosas (siete carbonos), se encuentran en la naturaleza con mucha menos frecuencia. La condensación de dos de estos compuestos simples origina disacáridos, y la de tres monosacáridos forma trisacáridos. Los productos de la condensación de más de tres monosacáridos no poseen las propiedades que se consideran características de los azúcares.

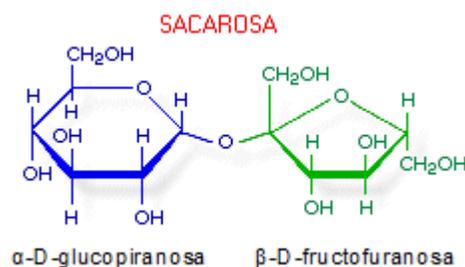
Las configuraciones de los grupos hidroxilo y los átomos de hidrógeno en los azúcares, son las que determinan la propiedad de los azúcares de ocasionar la rotación del plano de la luz polarizada; en esta propiedad se han basado los métodos más ampliamente empleados para la determinación de la presencia de azúcares en los jugos y los productos de la fabricación de azúcar.

1.1 Sacarosa

Este azúcar, que es el azúcar refinado del comercio, está ampliamente diseminado por todo el reino vegetal. Las fuentes comerciales, aparte de la caña de azúcar, son la remolacha azucarera y (en menor volumen) el árbol de arce, ciertas palmas, y el sorgo dulce que se usa para la fabricación de jarabe.

La sacarosa es un disacárido producido por la condensación de glucosa y fructosa, y tiene la fórmula empírica $C_{12}H_{22}O_{11}$. Se ha determinado que su estructura y configuración estereoquímica (cuya representación espacial puede verse en la figura 1) son la de α -D-glucopiranosil- β -D-fructofuranosido.

Figura 1. Estructura y configuración de la sacarosa



Fuente: <http://www.perafan.com/ea02azuc.html>

1.1.1 Propiedades físicas y químicas

La sacarosa es una sustancia soluble en el agua que cristaliza en forma monoclinica característica; el punto de fusión de los cristales es aproximadamente 184 °C; es fácilmente soluble en agua, alcohol etílico y amoníaco diluidos, prácticamente insoluble en el alcohol etílico anhidro, en éter, en cloroformo y en glicerol anhidro.

En solución, este azúcar es dextrógiro, con una rotación específica de $[\alpha]+66.53^\circ$ a una concentración de 26 gramos por 100 ml de agua. Ésta propiedad es de gran importancia por constituir la base de los métodos polarimétricos de análisis. Además, no presenta mutarrotación y no forma osazonas con fenilhidrazina.

La propiedad física más notable de la sacarosa es su sabor dulce. En la comparación del dulzor se emplea frecuentemente la sacarosa como sustancia patrón con valor de 100. El dulzor relativo de la fructosa depende de la temperatura y de la concentración; a 5 °C es de 143.7; a 40 °C tiene igual dulzor que la sacarosa; a 60 °C es solamente 79.

Tabla I. Dulzor relativo de los azúcares en solución de 10%

Azúcar	Dulzor Relativo
Fructosa	120
Sacarosa	100
Glicerol	77
Glucosa	69
Galactosa	67
Manitol	64
Lactosa	39

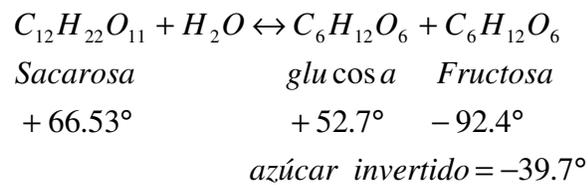
Fuente: Rakoff, Henry y Norman Rose. **Química Orgánica Fundamental**. Referencia 5.

La sacarosa tiene dos propiedades químicas predominantes: no es reductora y se hidroliza rápidamente. Se llama no reductora a la sacarosa porque no reduce el cobre del líquido de Fehling ni sus equivalentes; la razón es que los grupos reductores de los dos monosacáridos integrantes están unidos con enlace glicosídico. Sin embargo, reactivos más enérgicos atacan la molécula de sacarosa y explican el empleo de la sacarosa como antioxidante.

1.1.2 Inversión de la sacarosa

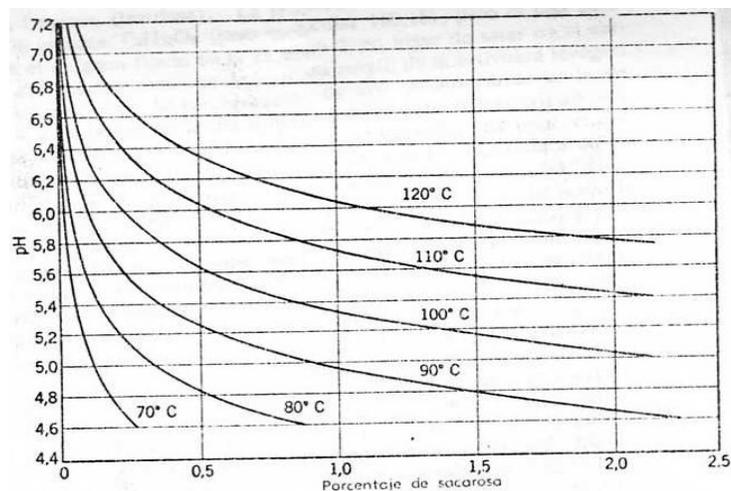
La sacarosa es dextrorrotatoria; tiene una rotación específica de $+66.53^\circ$. La D-glucosa es también dextrorrotatoria, $[\alpha]+52.7^\circ$, pero la D-fructosa tiene una rotación negativa fuerte, $[\alpha]-92.4^\circ$. Cuando la sacarosa se hidroliza a una mezcla de glucosa y fructosa, la rotación de la solución cambia de un valor positivo a un valor negativo, al ser observada en un polarímetro; este proceso se conoce como inversión de la sacarosa.

La sacarosa se hidroliza con facilidad en soluciones ácidas a velocidades que aumentan notablemente, según el aumento de la temperatura y la disminución del pH, con liberación de los monosacáridos constituyentes según la reacción:



Esta reacción es sumamente importante en la fabricación de azúcar, ya que se pierde sacarosa cuando los guarapos o jugos no se mantienen a un pH de 7, o ligeramente superior, especialmente durante las múltiples operaciones para las cuales se requieren temperaturas altas.

Figura 2. Inversión de sacarosa por hora a diferentes temperaturas y pH



Fuente: Chen, James. **Manual del Azúcar**. Referencia 1.

La mezcla equimolar de glucosa y fructosa que se forma es conocida generalmente como azúcar invertido, por extensión de la terminología que se aplica a la reacción de hidrólisis. La inversión produce cantidades precisamente iguales de los dos monosacáridos, pero se ha demostrado que las melazas finales contienen más fructosa que glucosa. Ésto es así porque durante varias etapas del proceso de fabricación la glucosa es destruida más rápidamente que la fructosa, especialmente en reacciones con otros constituyentes del jugo.

Comercialmente, el azúcar invertido es fácil de producir, ya que el enlace glucosídico es muy débil debido a la influencia de la fructosa; la energía de activación necesaria para lograr esta transformación es baja, por lo que se pueden emplear ácidos diluidos o enzimas de las llamadas invertasas. No es recomendable usar ácidos fuertes ni temperaturas elevadas, pues en estas condiciones no solo se provoca la hidrólisis del disacárido, sino también la deshidratación de los monosacáridos y la formación de colores y olores indeseables.

Tabla II. Poder inversor de diferentes ácidos

Ácido	Poder inversor
Bromhídrico	111.4
Clorhídrico	100.0
Nítrico	100.0
Metanosulfónico	100.0
Sulfúrico	53.6
Oxálico	18.5
Fosfórico	6.2
Cítrico	1.7
Fórmico	1.5
Acético	0.4

Fuente: Kirk, Raymond y Donald Othmer. **Enciclopedia de Tecnología Química**. Referencia 3.

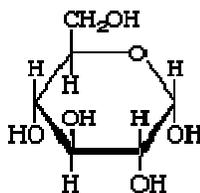
Otra característica del azúcar invertido es que no cristaliza, por lo que se emplea en algunos derivados de la confitería; además es higroscópico, lo cual puede ser una desventaja en algunos casos. En el comercio se han desarrollado muchos jarabes de sacarosa con distintos grados de hidrólisis que reciben el nombre genérico de azúcar líquido.

1.2 Glucosa

La glucosa, el más importante de los monosacáridos, se llama en ocasiones azúcar sanguíneo (porque se encuentra en la sangre), azúcar de uvas (porque se encuentra en las uvas) o dextrosa (por ser dextrorrotatoria). Los mamíferos son capaces de convertir la sacarosa, la lactosa, la maltosa y el almidón en glucosa que luego consume el organismo para la obtención de energía, o bien se almacena en forma de glucógeno (un polisacárido). Cuando el organismo necesita energía, el glucógeno se convierte de nuevo en glucosa.

Este monosacárido tiene la fórmula química $C_6H_{12}O_6$, y su estructura recibe la designación química de D-Glucopiranososa, quedando el anillo formado por el oxígeno en la posición que muestra la estructura de la sacarosa.

Figura 3. Estructura de la glucosa



Fuente: <http://www.astrored.org/enciclopedia/wiki/Sucrosa>

La glucosa anhidra forma cristales romboides que tienen un punto de fusión de 146°C mientras que el hidrato funde a 83°C. Es menos soluble en agua que la sacarosa; las soluciones saturadas contienen 49.4% a 23°C y 54.6% a 30°C, de azúcar anhidro, por peso. Es típico de los azúcares reductores, el tener un grupo aldehído libre oxidable por la acción de soluciones alcalinas de sales de cobre, el yodo, y otros agentes oxidantes. Estas reacciones constituyen la base de muchos métodos para la determinación analítica de la glucosa.

1.3 Fructosa

La fructosa, llamada también levulosa por ser levorrotatoria, es el compuesto de sabor más dulce entre todos los azúcares. Se encuentra en las frutas y en la miel, así como en la sacarosa.

La fructosa tiene la misma fórmula empírica que la glucosa, $C_6H_{12}O_6$, pero es una cetohexosa, con el oxígeno fijado en el carbono 2, en lugar del carbono 1. Es más soluble en agua que la glucosa y que la sacarosa; una solución saturada a 20°C contiene un 78.9% de éste azúcar, y la cristalización de formas particulares es más difícil que en el caso de la glucosa. La oxidan la mayoría de los reactivos que se utilizan para la determinación de la glucosa y de otros azúcares reductores, aunque reacciona más lentamente con soluciones alcalinas de yodo bajo condiciones específicas.

1.4 Azúcares reductores

Un grupo aldehído se oxida con gran facilidad a grupo carboxilo. Los azúcares susceptibles de ser oxidados por agentes oxidantes suaves, tales como el reactivo de Tollens (Ag^+ en NH_3 acuoso), el reactivo de Fehling (Cu^{2+} en tartrato de sodio acuoso) o el reactivo de Benedict (Cu^{2+} en citrato de sodio acuoso), se denominan azúcares reductores (reductor porque el azúcar reduce al agente oxidante).

Si se utiliza el reactivo de Tollens, se produce plata metálica como un espejo brillante sobre las paredes del matraz de reacción o del tubo de ensayo. Si se emplea el reactivo de Fehling o el de Benedict, un precipitado rojizo de Cu_2O es la señal de un resultado positivo.

Todas las aldosas son azúcares reductores porque contienen un grupo carbonilo aldehídico, pero algunas cetosas también son azúcares reductores. La fructosa reduce el reactivo de Tollens, por ejemplo, aun cuando no contiene un grupo aldehídico. La reducción ocurre porque la fructosa se isomeriza con rapidez en una aldosa en solución básica mediante una serie de corrimientos tautómeros cetoenólicos.

Los glicósidos tienen el grupo carbonilo bloqueado y son, por lo tanto, azúcares no reductores.

1.5 Prueba de Fehling

La prueba de Fehling se realiza para la determinación de azúcares reductores, para lo cual se utiliza el reactivo de Fehling, también conocido como licor de Fehling, que es una disolución descubierta por el químico alemán Hermann Von Fehling. Dicho licor consiste en dos soluciones acuosas, que se guardan por separado para evitar la precipitación del hidróxido de cobre (II):

- Sulfato de cobre cristalizado, 35 g; agua destilada, hasta 1.000 ml.
- Sal de Seignette (Tartrato mixto de Potasio y Sodio), 150 g; solución de hidróxido de sodio al 40%, 3; agua, hasta 1.000 ml.

La determinación de azúcares reductores se basa en el poder reductor del grupo carbonilo de un aldehído. Éste se oxida a ácido y reduce la sal de cobre (II) en medio alcalino a óxido de cobre (I), que forma un precipitado de color rojo. Un aspecto importante de esta reacción es que la forma aldehído puede detectarse fácilmente aunque exista en muy pequeña cantidad. Si un azúcar reduce el licor de Fehling a óxido de cobre (I) rojo, se dice que es un azúcar reductor. Al reaccionar con monosacáridos, se torna verdoso; si lo hace con disacáridos, toma el color del ladrillo.

Se utiliza como reactivo para la determinación de azúcares reductores, y es útil para demostrar la presencia de glucosa en la orina, y también para detectar derivados de la glucosa como la sacarosa o la fructosa.

2. JARABE SIMPLE

El jarabe simple es un líquido empleado para la producción de bebidas carbonatadas que consiste básicamente en una mezcla de agua y azúcar. Ésta solución puede ser preparada a partir de azúcar granular, azúcar líquida, jarabe de alta fructosa derivada del almidón, azúcar invertida o alguna mezcla de estos edulcorantes.

2.1 Elaboración de jarabe simple

La elaboración de jarabe simple requiere de equipo específico para esta operación, ya que éstos tienen que ser de fácil limpieza para disminuir problemas microbiológicos, todos los acoplamientos y válvulas deben ser de diseño sanitario y deben ser susceptibles a aceptar altas temperaturas.

Este proceso inicia con la adición de agua caliente (previamente tratada) al tanque mezclador a un volumen o peso específico. Una vez que el peso o volumen correcto de agua esté en el tanque, se procede a encender el agitador y a agregar poco a poco el azúcar para evitar que se sedimente en el fondo del tanque. Luego de que el azúcar está completamente disuelto, se añade carbón activado en polvo y ayuda filtrante para facilitar la filtración.

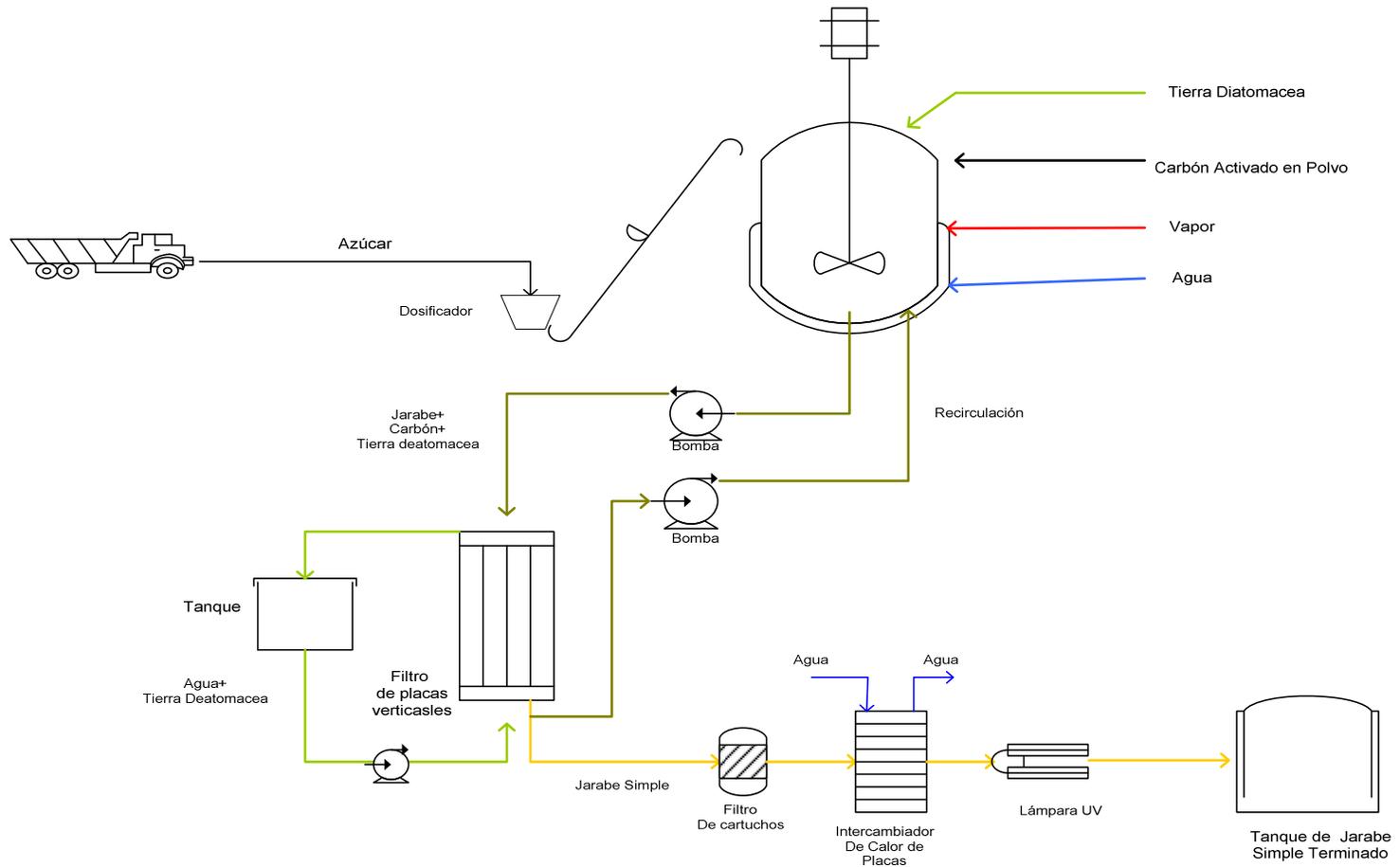
El tratamiento con carbón activado en polvo utiliza principalmente las propiedades de adsorción para la remoción de cuerpos de color y olor de la solución de jarabe simple. El carbón activado tiene una tasa de adsorción alta para los cuerpos de color y los compuestos de olor sobre un gran rango de pesos moleculares, además, adsorbe otros no azúcares como coloides, flóculos y agentes espumantes. Los cuatro factores que influyen en la efectividad del tratamiento con carbón son el área superficial, tiempo de contacto, agitación y temperatura.

La solución de azúcar debe permanecer en contacto con el carbón activado durante un tiempo especificado a una temperatura aproximada de 82°C. Esta temperatura debe de permanecer constante, debido a que un ligero enfriamiento puede desacelerar la reacción e incrementar el tiempo de procesamiento, y un sobrecalentamiento puede provocar problemas de sabor extraño debido al azúcar caramelizado o quemado.

Luego del tratamiento con carbón, la solución pasa a través de un sistema de filtración donde deben quedar atrapadas todas las partículas de carbón y ayuda filtrante que estaban suspendidas en el jarabe. Además, en esta etapa se deben remover las partículas extrañas que se logran introducir durante la fabricación y el envasado del azúcar. De no retener éstas partículas, pueden ocasionar problemas de formación de sedimento en el producto terminado.

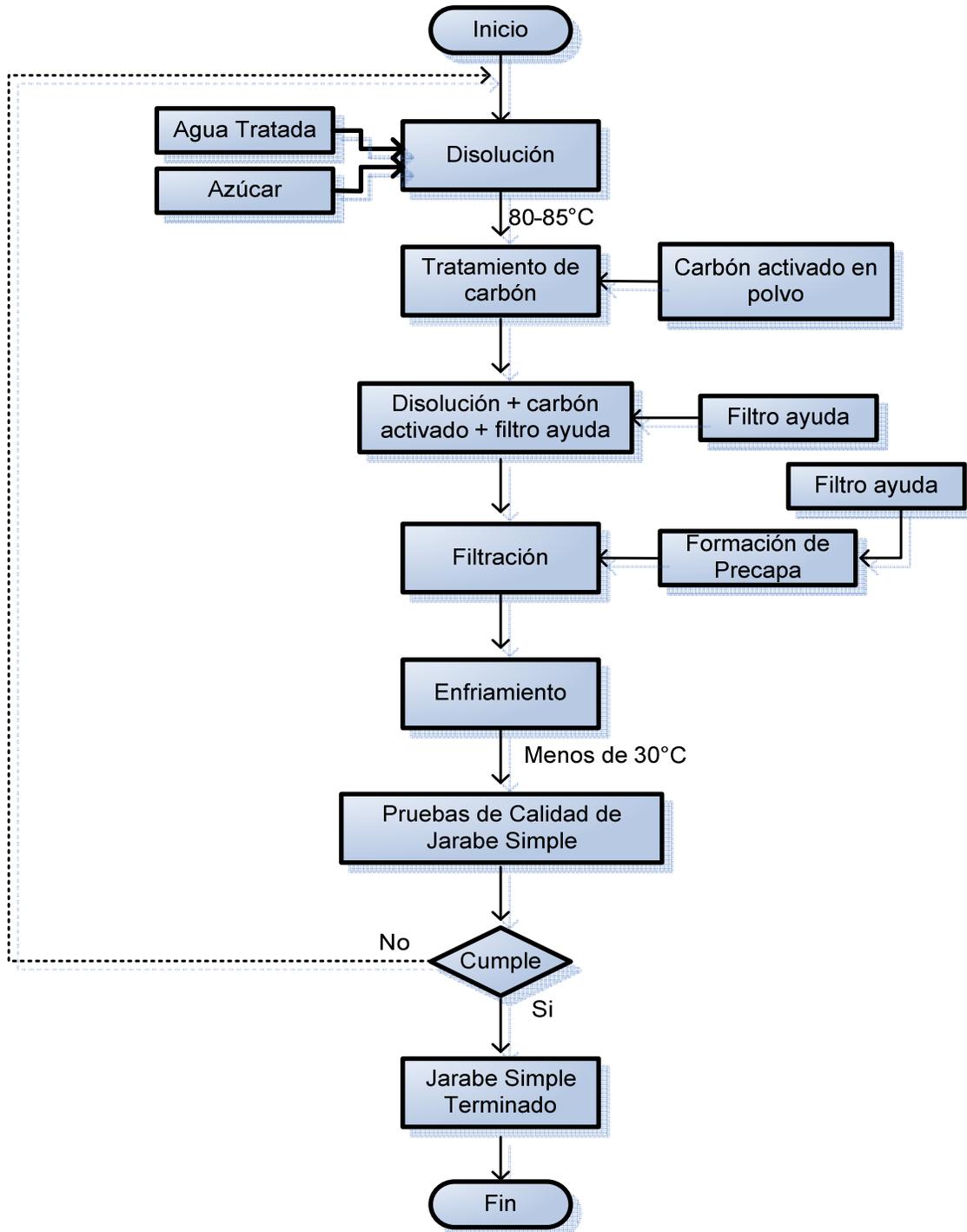
Por último, el jarabe se transporta hacia un filtro de cartuchos, donde se retienen los finos de carbón restantes en la solución, y después se enfría con la ayuda de un intercambiador de calor de placas a una temperatura menor de 30°C.

Figura 4. Proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas



Fuente: Elaboración propia a partir de observación de proceso de producción de jarabe simple.

Figura 5. Diagrama de bloques de la elaboración de jarabe simple



Fuente: Elaboración propia a partir de observación de proceso de producción de jarabe simple.

3. OPERACIONES UNITARIAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DE JARABE SIMPLE

Una operación unitaria es cada una de las acciones necesarias de transporte, adecuación y/o transformación de las materias implicadas en un proceso químico. La instalación donde se lleva a cabo una operación unitaria determinada constituye una unidad de proceso, cuyo diseño es específico y similar, independientemente del proceso, el tipo y las condiciones de las materias tratadas.

A continuación se describen las operaciones unitarias utilizadas en el proceso de elaboración de jarabe simple de bebidas carbonatadas.

3.1 Transporte de sólidos

Es una operación unitaria en la cual a través de un medio mecánico o neumático se moviliza un sólido de un lugar a otro. Debido a la gran variedad de sólidos y la gama de tamaños se dificulta la selección de un transportador. La teoría de cálculo aún no es lo suficientemente precisa y a menudo se debe conformar con lo que el fabricante afirme, sin esperar fórmulas de predicción; así, la información es de tipo empírico experimental, en donde se consideran:

- La longitud del tramo a cubrir con el movedor.
- La cantidad de sólido a mover por unidad de tiempo.
- Si el sólido habrá de ir horizontal, subiendo o bajando.
- Las características del sólido: densidad aparente, abrasividad, cohesividad, tamaño y forma, flotabilidad, etc.
- Elevación.

Todo transporte va a menudo asociado a un mecanismo de alimentación, llamado dosificador, que controla el flujo de entrada, y otro de descarga llamado descargador, que obliga al sólido a bajar del transportador.

Los problemas y soluciones más comunes en el transporte de sólidos son:

- Excesiva velocidad lineal del transportador puede provocar la voladura de polvos, para lo cual se puede colocar una guarda sobre el transportador, o bien, reducir la velocidad del mismo.
- Los transportes de tipo banda o cadena, deben tener mecanismos de frenado, de manera que si hay corte eléctrico o fallo del motor propulsor, la banda no retroceda. Además, deben tener mecanismos de seguridad si se traba la banda, para no sobrecargar el motor, evitando su fundición.
- Debe haber un mecanismo de limpieza o raspador, sobre todo en los sólidos pegajosos, para que no se queden en el transporte y vayan disminuyendo su capacidad de transporte real.

- En transportadores de tipo neumático, de cadena y de tornillo hay frotamiento, por ello se debe cuidar de los sólidos electroactivos y de los termolábiles, con conexión a tierra.

Entre los diferentes tipos transportadores se pueden mencionar la banda transportadora, elevador de cangilones, tornillo sin fin, cadenas, etc.

3.1.1 Elevador de cangilones

Éste es el clásico elevador de sólidos para subidas verticales o muy inclinadas, ya que lleva el sólido en canastillas o cubetas (cangilones), de preferencia es para materiales no muy pegajosos y no polvosos. Mueve materiales de distinto tamaño pero no se adaptan muy bien a los muy finos, sin embargo puede llevar terrones grandes (5 pulgadas).

3.2 Mezclado

El mezclado es una operación unitaria en la cual dos o más sustancias se ponen en contacto, de tal forma que al final de la operación se obtenga un sistema homogéneo a cierta escala.

El mezclado se obtiene mediante un proceso de agitación, que se lleva a cabo bien sea de forma dinámica, en un tanque, o estática, en un mezclador estático. De acuerdo al tipo de mezcla que se desee efectuar, ya sea dos fluidos miscibles o inmiscibles, un sólido en un líquido, un gas en un líquido, o dos sólidos granulados, el tipo de mezclador a emplear será muy diferente.

Los mezcladores se agrupan en cinco clasificaciones primarias:

- Mezcladores de flujos o corrientes
- Mezclador de paletas o brazos
- Mezclador de hélices o helicoidales
- Mezclador de turbinas o de impulsos centrífugos
- Mezcladores varios

En el proceso de elaboración de jarabe simple se utiliza un mezclador de paletas o brazos, el cual consiste en esencia en una o varias paletas horizontales, verticales o inclinadas unidas a un eje horizontal, vertical o inclinado que gira axialmente dentro del recipiente (aunque no siempre está centrado con éste). De esta manera el material que se mezcla es empujado o arrastrado alrededor del recipiente siguiendo una trayectoria circular. Cuando se trata de líquidos pocos espesos en recipientes sin placas desviadoras, las paletas imprimen siempre un movimiento de remolino a todo el contenido del recipiente. En todos los casos, el material directamente en la trayectoria de las paletas es empujado más aprisa que el que se encuentra entre ellas. Este hecho tiene gran influencia para cambiar la relación mutua existente entre las láminas (o estratos) paralelas a las paletas.

Sin embargo, una vez realizado este importante paso, las paletas carecen de medios eficaces para producir, en dirección perpendicular a ellas, fuerzas que corten transversalmente esos estratos y que los mezclen uno con otros. Este es su principal defecto. La estratificación se destruye en gran parte instalando en el recipiente placas desviadoras; las paletas pueden trabajar entonces más lentamente, acortándose para que la potencia necesaria sea razonablemente baja.

Los mezcladores de paletas o brazos se emplean más que los de ningún otro tipo, debido a que poseen las siguientes ventajas:

- Son los más antiguos, los más conocidos y los primeros en que se piensa.
- Son a menudo de construcción casera.
- El costo inicial es por lo general muy bajo.
- Proporciona muy buen resultado en muchas clases de trabajos.

3.3 Transferencia de calor

En las industrias de proceso, la transferencia de calor entre dos fluidos casi siempre se lleva a cabo en intercambiadores de calor. El tipo más común es uno en el cual el fluido caliente y el frío no entran en contacto directo el uno con el otro, sino que están separados por una pared de tubos o una superficie plana o curva. La transferencia de calor se efectúa por convección desde el fluido caliente a la pared o la superficie de los tubos, a través de la pared de tubos o placa por conducción, y luego por convección al fluido frío.

Existen tres mecanismos por los cuales se lleva a cabo el intercambio de calor, los cuales se presentan a continuación.

3.3.1 Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor; los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes. Este tipo de transferencia de calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor.

3.3.2 Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural, producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

La velocidad de transferencia de calor a través de un fluido es mucho mayor por convección que por conducción. Cuanto mayor es la velocidad del fluido mayor es la velocidad de transferencia de calor.

3.3.3 Radiación

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección, las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente, generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos de alta longitud de onda.

3.4 Adsorción

La adsorción consiste en la transferencia de un material desde una fase hasta una superficie, donde se enlaza mediante fuerzas intermoleculares. Aunque por lo regular la adsorción se asocia con la transferencia desde un gas o líquido hasta una superficie sólida, también se presenta la transferencia desde un gas a una superficie líquida. La sustancia que se concentra en la superficie se define como el adsorbato y el material sobre el cual éste se acumula se define como el adsorbente.

El diseño del equipo de adsorción requiere la selección de un adsorbente e información referente a la transferencia de masa hacia la superficie del adsorbente. Como parte de la selección de un adsorbente, es necesaria la información que describa la capacidad de equilibrio. Estos datos, que se obtienen a temperatura constante, se llaman isotermas de adsorción. A partir de las curvas de avance se obtiene una descripción de la velocidad de transferencia de masa al adsorbente.

La selección de un adsorbente incluye una consideración del área superficial, así como del tipo de soluto y solvente que actúan en el proceso de adsorción, ya que éstos se relacionan con los tipos de enlaces que se forman entre el sólido y el fluido. Dependiendo de dichos enlaces, la adsorción se describe ya sea como una adsorción física o como una adsorción química. La adsorción física se presenta cuando el adsorbato se adhiere a la superficie mediante fuerzas de Van der Waals (o sea, mediante fuerzas de dispersión o Coulómbicas). No obstante se puede presentar un desplazamiento de electrones, éstos no se comparten entre el adsorbente y el adsorbato. Durante el proceso de adsorción se libera una cantidad de calor, que se describe como calor de adsorción. Dado que esta cantidad de calor liberada por la adsorción física es aproximadamente igual al calor de condensación, la adsorción física a menudo se describe como un proceso de condensación. Como se espera, la cantidad de materia adsorbida en forma física se incrementa conforme disminuye la temperatura de adsorción. La naturaleza de las fuerzas de adsorción física es tal que se acumularán capas múltiples de adsorbato sobre la superficie del adsorbente.

La adsorción química se caracteriza por una compartición de electrones entre el adsorbente y el adsorbato que da por resultado la liberación de una cantidad de calor que es casi igual al calor de reacción. A causa de la compartición de electrones con la superficie, los materiales químicamente adsorbidos se restringen a la formación de una monocapa.

La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación más o menos intensa para dar lugar a una especie distinta.

Como consecuencia existen otras diferencias tales como:

- En la quimisorción ocurre una transformación química que origina que la energía de adsorción sea importante, pudiendo alcanzar valores similares a las energías de reacción. Por el contrario, la fisisorción es más débil y siempre exotérmica. Debido a esto, la temperatura de desorción de las especies fisisorbidas es generalmente menor que la de las especies quimisorbidas.
- La fisisorción es un fenómeno más general y menos específico, y la transformación química de la especie adsorbida (quimisorción) requiere una cierta energía de activación, que no es necesaria en la fisisorción, por lo que esta última suele ocurrir a temperaturas menores.

3.4.1 Factores que influyen en la adsorción

3.4.1.1 Sistema adsorbente-adsorbato

La capacidad final del adsorbente para un determinado soluto puede utilizarse, o no, plenamente en las condiciones del proceso real. En el límite, se establece un equilibrio entre la concentración del adsorbato en disolución y la masa del mismo adsorbida por unidad de masa (o de superficie) del adsorbente.

Se puede decir que el soluto se adsorberá más fácilmente cuando la afinidad de aquél por la superficie sea superior a su afinidad por el disolvente. Por tanto, la energía de unión entre la superficie y la sustancia considerada depende de la naturaleza de los solutos que han de adsorberse. Por ello, hay que conocer los aspectos cinéticos y termodinámicos del proceso, con los mecanismos y las resistencias que los regulan, pues éstas determinan el tiempo de contacto necesario y, así, el tamaño de las instalaciones.

3.4.1.2 Condiciones del medio

El pH afecta al grado de ionización de los compuestos ácidos o básicos, además, es frecuente que un pH ácido facilite la adsorción sobre carbón activo. Otra condición importante es la temperatura, la cual influye sobre la velocidad del proceso y el estado final de equilibrio.

3.4.1.3 Factores económicos

Desde el punto de vista industrial, las consideraciones económicas del proceso han de tener en cuenta tanto la inversión necesaria, incluida la planta de regeneración del adsorbente, si la hubiese, como los costos de operación. Cabe destacar el precio del adsorbente, la capacidad del mismo que determina la dosis necesaria y las posibilidades técnico-económicas de su regeneración.

3.4.2 Carbón activado

El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en activado cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000 °C) en la ausencia de oxígeno, el resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción.

El carbón activado tiene una fuerte atracción para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono, y es excelente en retener firmemente moléculas más pesadas, tales como compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos).

El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido.

3.5 Filtración

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso.

En este proceso las partículas suspendidas en un fluido, ya sea líquido o gas, se separan mecánica o físicamente usando un medio poroso que retiene las partículas en forma de fase separada, que permite el paso del filtrado sin sólidos.

Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas (algunos angstroms), la filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios, transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

Los mecanismos que pueden realizar transporte son los siguientes:

- Cernido
- Sedimentación
- Intercepción
- Difusión
- Impacto inercial
- Acción hidrodinámica
- Mecanismos de transporte combinados

Los mecanismos de adherencia son los siguientes:

- fuerzas de Van der Waals
- fuerzas electroquímicas
- puente químico

Es indudable que no todos necesariamente tienen que actuar al mismo tiempo y que, en algunos casos, la contribución de uno o varios de ellos para retener el material suspendido es quizás trivial. Lo más importante que ocurre durante la filtración es:

- La retención de las partículas sólidas o semisólidas.
- La resistencia del medio filtrante al paso de dichas partículas.
- La formación de una complicada red de canales por las partículas depositadas.

3.5.1 Mecanismos de Filtración

De acuerdo al objetivo de la filtración, las características de las partículas y del medio filtrante se pueden presentar diferentes mecanismos de separación que se describen a continuación.

3.5.1.1 Filtración por superficie

Las partículas de mayor tamaño que los diámetros de los poros del medio filtrante, se retendrán sobre la superficie y las partículas que sean menores a dichos diámetros pasarán y bloquearán los capilares del medio filtrante. En este tipo de separación, la cantidad de partículas depositadas no llega a formar un lecho de sólidos de espesor considerable y los intervalos de filtración van desde el tamizado de partículas hasta la filtración con membrana

3.5.1.2 Filtración profunda

Comparando con el mecanismo por superficie, las partículas de menor tamaño que los diámetros de los poros del medio filtrante serán retenidas dentro de él. Esto ocurre por adherencia de las partículas en las paredes del medio filtrante y sobre las partículas ya depositadas. Conforme el medio filtrante se carga con partículas, la resistencia aumenta. Cuando el ciclo de separación termina, el cartucho o la cama con partículas se cambia.

3.5.1.3 Filtración por torta

Es el mecanismo más común en los procesos industriales. Las partículas depositadas se acumulan y forman un lecho o torta sobre el medio filtrante, el lecho puede actuar como medio filtrante. Esto depende de su espesor, porosidad y permeabilidad.

3.5.1.4 Permeabilidad

Mientras que en la filtración por torta se refiere al depósito y acumulación de partículas, la permeabilidad es otro mecanismo que se enfoca al paso del fluido, más bien limpio, a través de una cama o lecho poroso pero de dimensiones fijas.

En todos estos tipos de separación existe una fuerza impulsora dada por una diferencia de presiones entre la presión de entrada de las partículas suspendidas y la presión del fluido a la salida, libre de partículas.

3.5.2 Medio filtrante

La selección de un medio filtrante se hace a través de un juego de valores locales del proceso, de la velocidad de filtración y de la retención, que son específicos de cada problema. La capacidad de filtración de un medio filtrante está dada por:

- Tamaño mínimo de partícula que puede retener, o tamaño de poro
- Permeabilidad al flujo
- Relación entre oclusión del medio y el aumento en su resistencia al flujo
- Resistencia a: la rotura, al calor, a la abrasión, a la flexión, a la acción de productos químicos
- Estabilidad dimensional
- Facilidad de limpieza

3.5.3 Equipos de filtración

Los sistemas de filtración pueden ser clasificados teniendo en cuenta el lecho filtrante, el sentido del flujo durante la filtración, la forma de aplicar la carga de agua sobre el medio filtrante y la forma de control operacional.

A continuación se describirán los equipos de filtración más utilizados.

3.5.3.1 Filtro de cartucho

Mecanismo de filtro desechable que tiene un rango de filtración de 0.1 micras hasta 100 micras.

3.5.3.2 Filtros de arena

La filtración de arena es frecuentemente usada y es un método muy robusto para eliminar los sólidos suspendidos en el agua. El medio de filtración consiste en múltiples capas para arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica. Filtros de arena pueden ser suministrados para diferentes tamaños y materiales ambas manos operan de totalmente de forma automática.

3.5.3.3 Lecho de filtración

Este tipo de filtro es útil principalmente en el caso en los que pequeñas cantidades relativas de sólidos se separan de grandes cantidades de agua y se clarifica el líquido. Con frecuencia, las capas inferiores se componen de piezas burdas de grava que descansan sobre una placa perforada o ranura. Por encima de la grava hay arena fina que actúa como el medio de filtración real. El agua se introduce en la parte alta del lecho sobre un deflector que dispersa el agua. El líquido clarificado se extrae de la parte inferior.

3.5.3.4 Filtros prensa de placas y marcos

Uno de los tipos de filtros más importantes es el filtro prensa de placas y marcos, los cuales consisten de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas. Las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa. La suspensión de alimentación se bombea en la prensa y fluye a través del conducto al interior de cada uno de los marcos abiertos, de manera que va llenando los espacios vacíos. El filtrado fluye entre la tela filtrante y la superficie de la placa, a través de los canales y hacia el exterior, mientras los sólidos se acumulan como torta en los marcos.

La filtración continúa hasta que los marcos quedan completamente llenos de sólidos. En muchos casos, el filtro prensa tiene una descarga abierta individual para cada marco, que permite una inspección visual para verificar la transferencia del líquido filtrado. Si una de las salidas descarga líquido turbio debido a una perforación de la tela o a otras causas, se puede cerrar por separado y continuar con la operación. Cuando los espacios están totalmente llenos, las placas y los marcos se separan y se extraen tortas. Después se vuelve a armar el filtro y se repite el ciclo.

4. METODOLOGÍA

4.1 Metodología de investigación

4.1.2 Recursos

4.1.2.1 Institucionales

El presente trabajo de graduación se llevó a cabo en las instalaciones de una empresa embotelladora de bebidas carbonatadas.

4.1.2.2 Humanos

- Investigador: Luis Carlos Jeréz López
- Asesor: Ing. Julio Gabriel López Mazín

4.1.2.3 Físicos

4.1.2.3.1 Equipo

- Densímetro, marca Anton Paar, modelo DMA 48, serie 061483.
- Potenciómetro, marca Mettler Toledo, modelo seven multi, serie 1226127022.
- Baño ultrasónico, marca Branson, modelo 5510R-DTH, serie RNC08610495E.

- Agitador magnético, marca American Stirrer, modelo 582501, serie 008590.
- Balanza, marca Sartorius, modelo CP4201, serie 14807245.
- Balanza de humedad, marca Shimadzu, modelo MOC-120H, serie D207300685.

4.1.2.3.2 Cristalería y accesorios

- Beakers de 400. 600 y 1000 mL
- Agitadores magnéticos
- Espátula
- Bolsas de plástico
- Envases PET de 600 mL
- Balón de boca ancha de 100 mL
- Erlenmeyer de 100 mL
- Bureta de 50 mL
- Gotero
- Vidrios de reloj

4.1.2.3.3 Reactivos

- Solución de Fehling
- Solución de ácido fosfórico.
- Solución de azul de metileno.

4.2 Metodología experimental

4.2.1 Análisis de azúcar granular

El análisis de azúcar se realizó a cada lote que ingresó a la planta, el cual consistió en la medición de pureza para descartar que ésta tuviera cenizas, humedad y trazas de azúcares reductores que pudieran disminuir la cantidad de sacarosa presente en el jarabe simple. A su vez, se compararon los análisis de muestras provenientes de dos ingenios diferentes con la finalidad de poder determinar si el lugar de procedencia del azúcar pudiera ser uno de los factores que afectarán el grado de inversión de la sacarosa.

4.2.1.1 Procedimiento descriptivo

1. Tomar una muestra de azúcar de aproximadamente 400 gr.
2. Homogenizar la muestra agitándola durante 30 segundos.
3. Determinar la pureza del azúcar granular.
4. De la muestra de azúcar inicial, introducir de 20 a 25 gramos en la balanza de humedad y tomar la lectura correspondiente.

4.2.2 Efecto de la acidez del carbón activado sobre el jarabe simple

Se midió el pH de cada lote en la disolución de jarabe, así como también después que el jarabe estuvo en contacto con el carbón activado en polvo para determinar las variaciones de acidez que provocaba dicho carbón.

4.2.2.1 Procedimiento descriptivo

1. Tomar una muestra de la disolución de azúcar y agua previo a agregar el carbón activado.
2. Medir el pH de la muestra utilizando para ello un potenciómetro (tomar la lectura 5 minutos después de haber introducido el electrodo en la solución).
3. Tomar una muestra de jarabe simple terminado.
4. Medir el pH de la muestra utilizando para ello un potenciómetro (tomar la lectura 5 minutos después de haber introducido el electrodo en la solución).

4.2.3 Determinación de azúcares reductores

Se realizó la prueba de azúcares reductores a cada lote de jarabe simple por medio de la prueba de Fehling, la cual se describe a continuación.

4.2.3.1 Procedimiento descriptivo

1. Tomar 40 mL de la dilución de jarabe simple y adicionar a un balón de boca ancha aforado a 100 mL, luego completar el volumen con agua destilada.
2. Adicionar en un erlenmeyer 10mL de solución de Fehling (la cual es de color azul), y en una bureta de 50ml colocar la dilución preparada, de ésta se adicionan 15-25 mL sobre la solución de Fehling.
3. Colocar el erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento con agitación y llevar la solución hasta punto de ebullición, al alcanzar el punto de ebullición agregar de 3 a 5 gotas de solución de azul de metileno e iniciar la titulación de la solución azucarada gota a gota.
4. Detener la titulación hasta que nuevamente la solución adquiere el color rojo ladrillo, anotar los mL de solución azucarada gastados.
5. Determinar el % de azúcares reductores:

$$\% \text{ azúcares reductores} = \frac{5.2096}{\text{mL} * P} * 100\%$$

Donde:

P = peso de la solución azucarada utilizada en titulación

mL = mililitros gastados en titulación

6. Determinar el % de inversión del jarabe simple por lote analizado:

$$\% \text{ inversión} = \frac{\text{azúcares reductores}}{(\text{azúcares reductores} + \text{sacarosa})} * 100\%$$

4.2.4 Monitoreo de la temperatura y tiempo de residencia de la disolución en el tanque de jarabe simple

El tanque de jarabe simple proporciona una gráfica de temperatura en el tanque en función del tiempo de residencia, por lo que se tomaron los valores promedio de temperatura y tiempo total de residencia en el tanque previo a que el jarabe simple fuera filtrado.

4.2.5 Evaluación de las variables que provocan la inversión de la sacarosa

4.2.5.1 Procedimiento descriptivo

1. Preparar una solución de 500 mL de jarabe simple.
2. Acidificar la solución con ácido fosfórico hasta alcanzar un pH de 4.0.
3. Colocar la solución en un baño María hasta que alcance la temperatura de 70°C.
4. Tomar aproximadamente 50 mL de la solución inicial en los tiempos 0, 2, 4 y 6 horas.
5. Realizar el análisis de azúcares reductores y determinar el porcentaje de inversión en los diferentes tiempos.
6. Realizar nuevamente los pasos 1-5, utilizando una solución con un pH de 4.5 y 5.
7. Repetir los pasos 1-6, utilizando una temperatura de 80 °C.

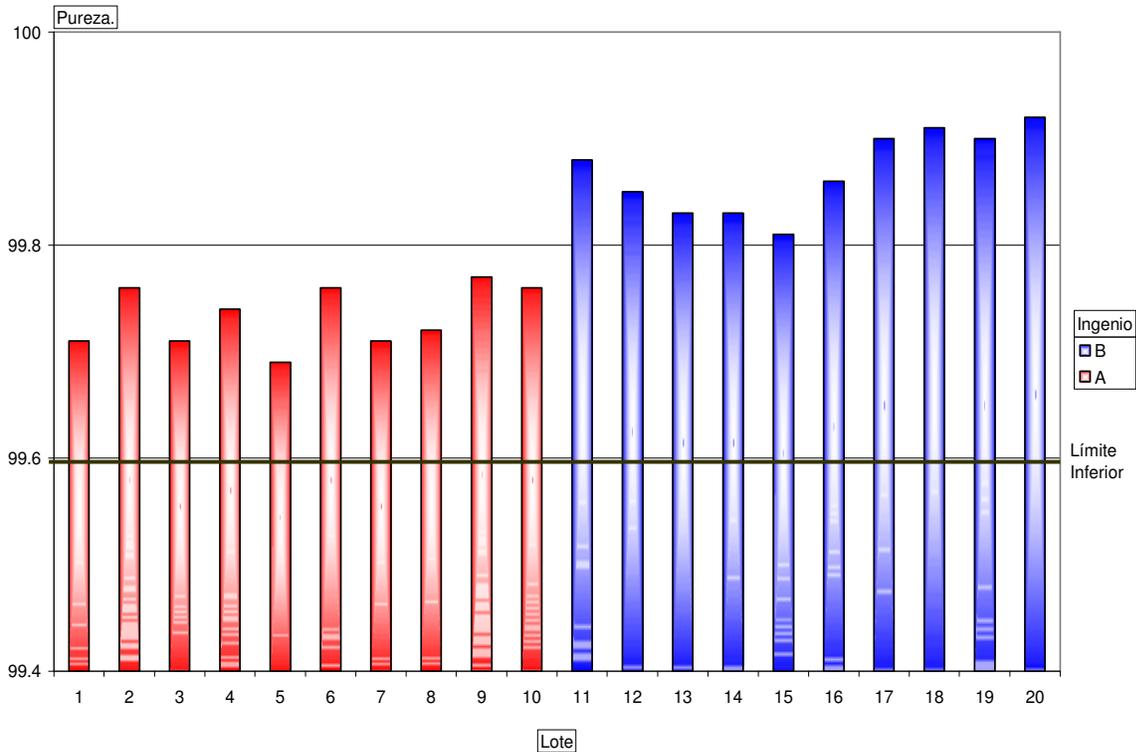
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla III. Pureza y humedad del azúcar granular

Lote	Ingenio	Pureza	Humedad (%)
1	A	99.71	0.02
2	A	99.76	0.01
3	A	99.71	0.01
4	A	99.74	0.02
5	A	99.69	0.02
6	A	99.76	0.02
7	A	99.71	0.07
8	A	99.72	0.02
9	A	99.77	0.02
10	A	99.76	0.02
11	B	99.88	0.05
12	B	99.85	0.02
13	B	99.83	0.02
14	B	99.83	0.01
15	B	99.81	0.01
16	B	99.86	0.01
17	B	99.90	0.01
18	B	99.91	0.02
19	B	99.90	0.01
20	B	99.92	0.02

Fuente: Resultados de investigación de informe final.

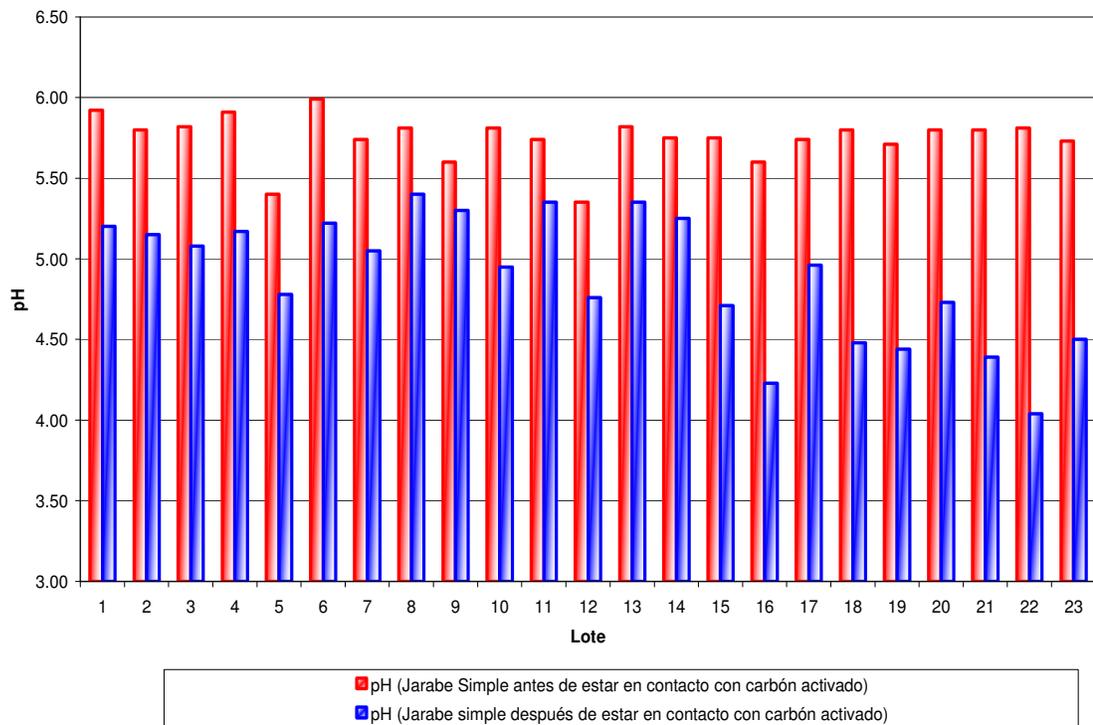
Figura 6. Comparación de la pureza del azúcar granular proveniente de dos ingenios diferentes



Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Como se puede observar en la figura 6, todos los lotes de azúcar analizados provenientes de dos ingenios diferentes presentaron purezas superiores al 99.6%, con lo cual se puede decir que cumplen con las especificaciones del azúcar tipo estándar, descartando de esta manera la presencia de grandes cantidades de cenizas, humedad y azúcar invertido, que pudieran influir en la calidad del producto final.

Figura 7. Influencia del carbón activado en polvo sobre la acidez del jarabe simple



Fuente: Resultados de investigación de informe final.

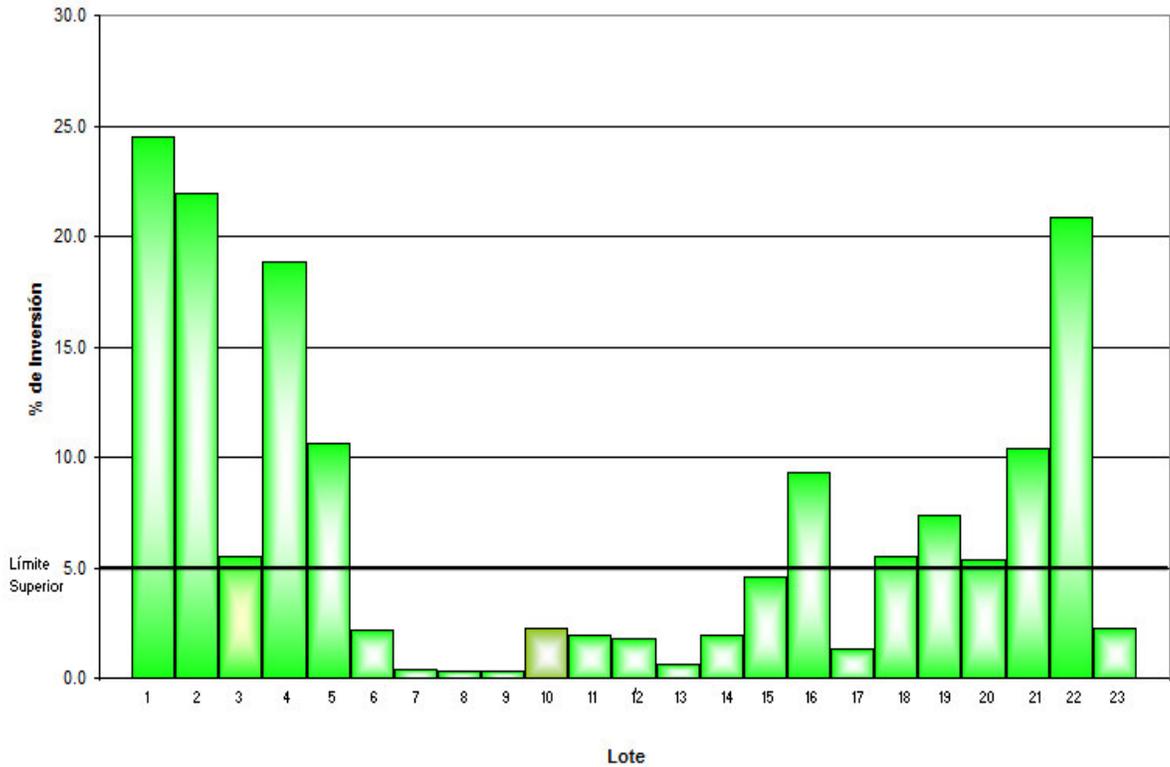
De acuerdo con la figura 7 se tiene que todos los lotes de jarabe simple tuvieron un incremento del 15 % en promedio de la acidez luego de estar en contacto con carbón activado, lo cual puede ser perjudicial, ya que esta propiedad es una de las variables que, junto con la temperatura, propicia el aumento de la inversión de la sacarosa.

Tabla IV. Monitoreo de la condiciones de operación en tanques de jarabe simple

Lote Jarabe	pH	Temperatura (°C)	Tiempo (Hr)	% Inversion
1	5.20	80.0	8.3	24.5
2	5.15	80.0	8.0	22.0
3	5.08	69.0	10.0	5.5
4	5.17	78.0	7.5	18.8
5	4.78	82.0	4.0	10.6
6	5.22	82.0	2.2	2.2
7	5.05	82.0	1.5	0.4
8	5.40	82.0	1.3	0.3
9	5.30	82.0	2.0	0.3
10	4.95	80.0	2.6	2.3
11	5.35	81.0	2.5	2.0
12	4.76	82.0	1.0	1.8
13	5.35	78.0	2.5	0.6
14	5.25	82.0	1.5	1.9
15	4.71	77.0	7.0	4.6
16	4.23	76.0	9.0	9.3
17	4.96	80.0	1.3	1.3
18	4.48	82.0	4.0	5.5
19	4.44	80.0	8.0	7.4
20	4.73	82.0	3.0	5.3
21	4.39	75.0	18.0	10.4
22	4.04	80.0	18.0	20.9
23	4.50	82.0	1.3	2.2

Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Figura 8. Porcentaje de inversión de diferentes lotes de jarabe simple



Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Los lotes de jarabe simple que presentaron un porcentaje de inversión arriba de los límites establecidos son aquellos que estuvieron expuestos durante más de 4 horas a temperaturas arriba de los 75 °C, además, otra de las variables que influyó en el aumento del porcentaje de inversión fue el pH, ya que como se mencionó anteriormente, todos los lotes de jarabe simple tuvieron un aumento de la acidez, variable que combinada con la temperatura y tiempo de exposición favorece el incremento de la inversión de la sacarosa.

Tabla V. Porcentaje de inversión de jarabe simple a 70°C en función del tiempos y pH

Tiempo (Horas)	% de Inversión		
	pH= 4.0	pH= 4.5	pH= 5.0
0	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.60	0.30
4	1.50	0.90	0.50
6	2.20	1.10	0.50

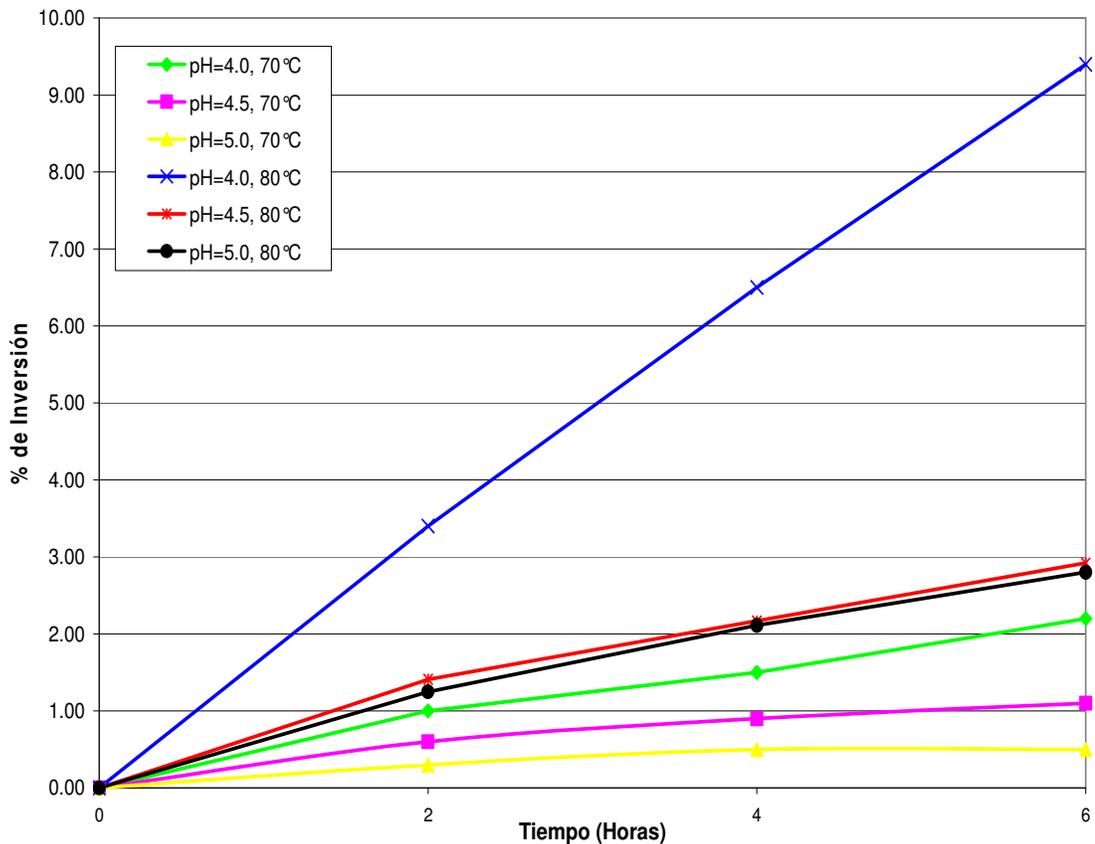
Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Tabla VI. Porcentaje de inversión de jarabe simple a 80°C en función del tiempo y pH

Tiempo (Horas)	% de Inversión		
	pH= 4.0	pH= 4.5	pH= 5.0
0	0.00	0.00	0.00
2	3.40	1.41	1.25
4	6.50	2.17	2.11
6	9.40	2.92	2.80

Fuente: Resultados de investigación de informe final.

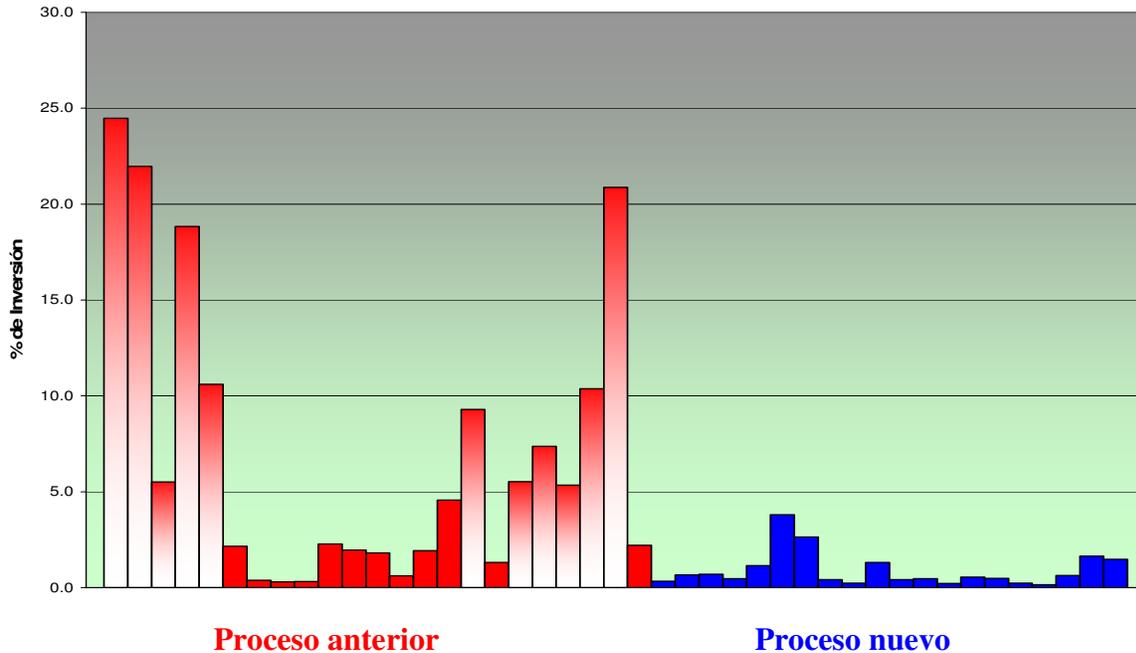
Figura 9. Porcentaje de inversión de jarabe simple a diferentes condiciones de operación



Fuente: Resultados de investigación de informe final.

De acuerdo con la figura 9, el mayor porcentaje de inversión de la sacarosa se da cuando el jarabe simple se encuentra expuesto a una temperatura de 80°C, a un pH de 4 y a un tiempo de 6 horas. Con esto se puede decir que si los lotes de jarabe se mantienen a una temperatura abajo de los 70°C no se tendrían riesgos de sobrepasar el 5% de inversión, el cual es el límite que permite el estándar de manufactura de bebidas carbonatadas.

Figura 10. Acciones correctivas implementadas para disminuir la inversión de la sacarosa en la elaboración de jarabe simple



Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Acciones correctivas

- En el proceso anterior, el carbón activado en polvo se añadía desde el momento en que se iniciaba la preparación de jarabe simple. Además, cuando no se filtraba completamente la solución de jarabe, ésta permanecía a altas temperaturas (>75°C) durante tiempos prolongados.
- En el proceso nuevo, el carbón activado en polvo se añade hasta que el azúcar éste completamente disuelta en el agua, estando en contacto con la solución de jarabe simple únicamente 30 minutos a 82°C. De no filtrar completamente la solución, ésta se enfría a una temperatura de 60°C, hasta que se continúe nuevamente con el proceso de filtración. Con esto se logró reducir en un 87 % la inversión de la sacarosa en el jarabe simple.

Tabla VII. Estadística de la regresión múltiple para las condiciones de operación en tanque de jarabe simple

Coeficiente de correlación múltiple	0.7624
Coeficiente de determinación R ²	0.5813
R ² ajustado	0.5152
Error típico	5.2647
Observaciones	23

Fuente: Resultados de investigación de informe final.

Tabla VIII. Modelo de regresión múltiple

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>
Intercepción	-108.3253	46.1065
pH	6.0621	3.5998
Temperatura (°C)	0.9611	0.4559
Tiempo (horas)	1.6613	0.3492
Modelo de regresión múltiple	% inversión= -108.32+6.06pH + 0.96T + 1.66Hr	

Fuente: Resultados de investigación de informe final.

CONCLUSIONES

1. La procedencia del azúcar granular utilizada como materia prima no influye en la pureza de la misma, ya que el 100 % de los lotes analizados posee arriba del 99.6% de sacarosa, tal y como se especifica en las características del azúcar tipo estándar.
2. El 47 % de los lotes analizados presentaron un porcentaje de inversión arriba del 5%, debido a que estuvieron expuestos tiempos superiores a las cuatro horas, a temperaturas arriba de los 75 °C.
3. De acuerdo a la evaluación de las variables que afectan la inversión de la sacarosa, se determinó que a un pH de cuatro, una temperatura de 80 °C y un tiempo de seis horas, se produce el mayor porcentaje de inversión.
4. La implementación de las acciones correctivas en el proceso de elaboración de jarabe simple, redujo en un 87 % la inversión de la sacarosa.

RECOMENDACIONES

1. Añadir el carbón activado en polvo hasta que el azúcar esté completamente disuelta en el agua, y que la temperatura de la solución sea de 82 °C.
2. Realizar el proceso de filtración inmediatamente después de que el carbón activado en polvo, haya estado en contacto con la solución de jarabe simple durante 30 minutos a 82 °C.
3. En caso de que la filtración no se pueda realizar completamente, disminuir la temperatura de la solución de jarabe simple a 60 °C.
4. Controlar periódicamente el porcentaje de inversión de la sacarosa en el jarabe simple y establecerlo como un parámetro de control de proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chen, James. **Manual del Azúcar**. Segunda Edición. México: Editorial Limusa, 1991. Págs. 27-31.
2. Dantart, Alex. **Sacarosa**. <http://www.astrored.org/enciclopedia/wiki/Sucrosa>. 2005.
3. Kirk, Raymond y Donald Othmer. **Enciclopedia de Tecnología Química**. Volumen 2. México: Editorial Hispanoamericana, 1962. Pág. 625.
4. Perafán, Felipe. **Azúcar de Caña**. <http://www.perafan.com/ea02azuc.html>. 01/04/2005.
5. Rakoff, Henry y Norman Rose. **Química Orgánica Fundamental**. México: Editorial Limusa, 1980. Págs. 794-795.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brenson, Mark. **Estadística para Administración**. Segunda edición. México: Editorial Pearson Educación, 2001. Págs. 523-530.
2. Cortés, José. **Reconocimiento de Glúcidos**. <http://www.joseacortes.com/practicas/glucidos.htm>. 18/09/2005.
3. De León, Otto Raúl. **Manejo de Sólidos en Ingeniería Química**. Guatemala, 2006. Págs. 22-31.
4. Espinosa, Susana. **Fundamentos de transferencia de calor**. http://fain.uncoma.edu.ar/prof_tec/mecanic/termodin/fundame_calor.pdf. Mayo, 2005.
5. Fessenden, Ralph y Joan Fessenden. **Química Orgánica**. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1985. Págs. 814-830.
6. Hines, Maddox. **Transferencia de Masa, Fundamentos y Aplicaciones**. México: Editorial Prentice Hall, 1987. Págs. 265-275.
7. Hugot, Emile. **Manual Para Ingenieros Azucareros**. México: Editorial Continental, 1964. Págs. 767-774.
8. Kern, Donald. **Procesos de Transferencia de Calor**. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1987. Págs.

9. McCabe, Warren L. y Julian C. Smith. **Operaciones Básicas de Ingeniería Química**. Sexta Edición. México: Editorial Reverté, 2001. Págs. 1072-1118.

10. McMurry, John. **Química Orgánica**. Quinta Edición. México: Editorial Thompson, 2003. Págs. 1057-1061.

11. Méndez, Lucila. **Filtración**. <http://depa.fquim.unam.mx/filtracion/consideraciones.html>. 13/10/2006.