

Monografía

**Espuma no deseada en Destilerías
de Alcohol. Métodos de Control.**

Autor: Raciel Hernández Barroso

**Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensioactivos
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Km 3 ½ Autopista a Varadero. Cuba
Email: raciel@umcc.cu**

Tabla de contenido

Capítulo I. Generalidades	3
Acerca de la espuma.	3
Formación de espumas. Condiciones de Aparición.	3
Estabilidad de la espuma.	4
Morfología de la espuma.	6
Capítulo II. Espuma en Destilerías	7
Espuma en destilerías. Espuma no deseada.	Error! Bookmark not defined.
Prefermentadores.....	7
Fermentadores.....	9
Destilería del CAI "Jesús Rabí".....	10
Datos puntuales que son representativos de la fábrica, tomado del día 4 de Abril de 1996.....	10
Destilería del CAI "Enrique Varona".....	10
Destilería de la Corporación CubaRon S.A.	10
Columna de Destilación	12
Mosto de destilería.....	12
Capítulo III. Control de la Espuma	14
Control de la espuma. Acerca de los Antiespumantes.	14
Modo de acción de los antiespumantes.	15
Algunos agentes supresores de espuma.	15
SILICONAS	17
TENSOACTIVOS	17
ALCOHOLES, ACIDOS GRASOS, ESTERES	17
CERAS	17
OTROS	18
Productos de oxialquilación	18
Formales mixtos	18
Terpenos	18
Selección de los agentes que controlan la espuma.	18
Minimizando los costos en el control químico de la espuma	19
Factores que inhiben la espuma en fermentadores.	20
Algunas consideraciones mecánicas para el control de la espuma en fermentadores con sistemas de recirculación.	20
Sistema con fuerte succión superficial.....	25
Capítulo IV. Evaluación de Antiespumante Nacional en Destilerías.	27
Antiespumante de Múltiple efecto.	27
Evaluación de los productos desarrollados	27
Resultados y Discusión.	Error! Bookmark not defined.
Conclusiones	
Bibliografía	
Índice de Materia	

Capítulo I. Generalidades

Acerca de la espuma.

La espuma es un estado coloidal donde un gas, generalmente aire, es la fase dispersa, y la fase dispersante es una película líquida muy delgada constituida fundamentalmente por agua en la mayoría de los procesos físico – químicos. Estas espumas reciben en nombre de espumas acuosas.

Es bueno señalar que este sistema disperso líquido – gas recibe el nombre de espuma sólo cuando la fracción en volumen de gas es suficientemente grande comparado con la del líquido, de modo que la fase continua o dispersante separe a las burbujas de gas mediante una capa muy delgada de líquido como hemos expresado antes.

Las espumas son muy parecidas a emulsiones concentradas y sólo se diferencian en que la fase dispersa de las emulsiones es otro líquido y no un gas.

La espuma ha recibido diferentes designaciones tales como “foamlike dispersion” por Lien, “polyaphrons” y “espumas bilíquidas” por Sebba y “foamulsion” por Wellington.

Formación de espumas. Condiciones de Aparición.

Una condición necesaria para la formación de espuma es que se establezca en contacto líquido – gas a través de cualquier método químico – físico, en los cuales se forman burbujas que suben a la superficie a velocidades que dependen de su tamaño, de la viscosidad del líquido y de la diferencia entre las densidades que existe entre el líquido y el gas.

En el seno de la fase líquida pueden surgir burbujas por varias razones, las cuales se citan a continuación:

- Por el origen de un cambio de fase, en este caso la ebullición debido a un aumento de temperatura,
- Por transformaciones químicas o biológicas en el seno del líquido dando que dan lugar a una nueva fase, por ejemplo, la formación de dióxido de carbono en el seno de la batición en los procesos fermentativos,
- Por la oclusión de la fase gaseosa a través de un método físico o mecánico, los cuales pueden ser el mezclado, por inyección de gas debajo de la superficie líquida, por la oclusión de aire que provoca un líquido que cae sobre otro, al caer el líquido desde cierta altura, entre otros.

Si todas las burbujas que llegan a la superficie se rompen rápidamente, el gas sale de la superficie del líquido sin formar espuma. Para que se acumulen burbujas en la superficie sin antes reventar es necesario y suficiente que el líquido sea espumoso.

Ahora bien, ¿Cuándo un líquido es considerado como espumoso?.

Al igual que cualquier otra forma de la materia, una espuma acuosa mantiene su configuración únicamente en el caso en que no puede transformarse espontáneamente en una estructura de menor energía. En el caso de las burbujas que conforman la espuma, dicha energía incluye la energía interna del gas, que contienen las burbujas de la espuma, la energía química de las sustancias que constituyen las películas del líquido que forman las paredes de las burbujas y la tensión superficial (la energía de la superficie de las películas).

Las moléculas situadas en la superficie de las películas poseen mayor energía respecto a las situadas en su interior, en consecuencia, las superficies son termodinámicamente inestables, es decir, las espumas siempre se “esfuerzan” en ajustar los detalles de sus estructuras intrincadas de forma tal que la extensión total de sus superficies sea la menor posible (Aubert, Kraymik, Rand; 1986).

Es conocido que todas las películas se enfrentan a una barrera energética, que a medida que el líquido abandona la película, tornándola más delgada, aparecen fuerzas superficiales en oposición a la continuidad de este proceso. Estas fuerzas se producen como consecuencia de la presencia de ciertas moléculas conocidas con el nombre de sustancias tensoactivas; es decir, para la existencia de un sistema espumoso debe cumplirse la condición de que la película de las burbujas estén cubiertas de sustancias tensoactivas, estas moléculas favorecen la aparición de espuma en el líquido considerado. Cuando las fuerzas destructoras y conservadoras se encuentran en equilibrio, las películas de la espuma se vuelven metaestables, es decir, resultan estables para pequeñas perturbaciones (Chemische Fabrik Stockhausen & Cie), (Aubert, 1989).

El hecho de que las soluciones de agentes de actividad superficial ocupen un lugar destacado en los sistemas espumantes indica la importancia de la tensión superficial para la estabilidad de la espuma (Kirk – Othmer).

Podemos resumir lo antes expuesto relacionado con las condiciones necesarias para la aparición de la espuma como sigue:

- Debe cumplirse primeramente, que en el líquido existan sustancias de superficie activa conocidas como tensoactivos, y segundo:
- Que se establezca el contacto líquido – gas a través de cualquier método, dando lugar así a la formación de burbujas.

Estabilidad de la espuma.

Como la espuma es un sistema de gran extensión superficial, es evidente que la poca tensión superficial coopere a dar estabilidad a la espuma, pero no es el único factor, ni siquiera el más importante de dicha estabilidad. Según J. Willard **Gibbs**, es más importante que el líquido tenga tensión superficial reversible, es decir, que la poca extensión mecánica de su superficie ocasione temporalmente un aumento de la tensión superficial y que la contracción de la superficie disminuya dicha tensión. Gibbs definió esta acción como elasticidad de la película que circunda las burbujas del gas. Es bueno aclarar que los líquidos puros no pueden formar espuma debido a la ausencia de **elasticidad de Gibbs**, es decir, las películas de la espuma de un líquido puro son inestables respecto a las fluctuaciones infinitesimales del espesor de la película (Aubert, 1989 y Kirk – Othmer).

Otro fenómeno, conocido como el **efecto de Marangoni** en honor al físico italiano C.G.M. Marangoni, está relacionado con el efecto de Gibbs, el cual es transitorio y se produce debido a que se requiere cierto tiempo para que las moléculas tensoactivas se difundan hasta la superficie de una película recién estirada. Por tanto, la concentración de tensoactivos en la superficie es inicialmente muy baja y la tensión superficial es aún mayor que lo que prediría el cálculo de la magnitud del efecto de Gibbs. La tensión disminuye lentamente hasta alcanzar el valor de Gibbs a medida que los tensoactivos se difunden hacia la superficie y se equilibra la película.

Según **Bartsch**, en soluciones acuosas débilmente espumantes de alcoholes y ácidos, se obtiene estabilidad máxima con soluciones cuya tensión varía rápidamente con su

concentración y no cuando su tensión alcanza un mínimo (Bartsch, 1924). Aún así, las soluciones de fuerte actividad superficial forman espumas más estables a medida que aumenta su concentración aunque se llegue a un mínimo de tensión superficial.

La desintegración que con el tiempo experimenta una espuma tiene varias causas. La disolución de una emulsión inestable se atribuye por lo general al movimiento browniano de las partículas que hacen que choquen y se junten, dando lugar a la precipitación. En el caso de las espumas es difícil que el movimiento browniano sea causa de su desintegración debido a la gran viscosidad que estas poseen.

Plateau comprobó que la viscosidad de la película que separa las burbujas es a menudo mucho mayor que la viscosidad del líquido del cual se formaron, y pensó que la razón entre la viscosidad superficial y la tensión superficial de la solución determina la estabilidad de la espuma (Kirk – Othmer). El desagüe del líquido aumenta a medida que disminuye la viscosidad, por tanto, si todos los demás factores permanecen constantes, la estabilidad de la espuma crece según aumenta la viscosidad de la solución.

Según **Shigeta Hara**, estudiando la espuma en las coladas de óxidos metálicos, la tensión superficial por ella misma no tiene efecto sobre la altura de la espuma, pero la disminución de la tensión superficial por la unidad de cambio de concentración de tensoactivos $\Delta\gamma/\text{mol}$ juega un importante papel en la estabilidad de la espuma (Hara, Kitamura y Ogino, 1990).

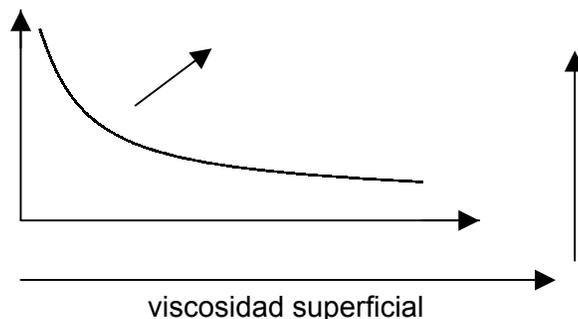


FIGURA 1.

En la Figura 1 la altura de espuma es mostrada como una función de la viscosidad superficial μ_s y el valor $\Delta\gamma/\text{mol}$. A partir de estos factores se puede deducir que la viscosidad superficial más alta de las coladas es necesaria pero no suficiente para estabilizar la espuma y es requerido además el valor más alto de $\Delta\gamma/\text{mol}$.

El aumento de la temperatura acelera la desintegración de la espuma debido a que reduce la viscosidad y porque aumenta la evaporación. Otros factores que aceleran la desintegración de la espuma son la difusión gaseosa desde las burbujas pequeñas hasta las burbujas mayores, así como la vibración mecánica.

J.B. **McGee** resume los factores que influyen en la estabilidad de la espuma de la siguiente forma (McGee, 1989):

- Elevada elasticidad pelicular: Describe la habilidad de la pared burbuja de volver a cubrir o tapar a partir de una fuerza aplicada,

- Elevada superficie viscosa y volumen viscoso: La superficie viscosa puede ser severa del orden de magnitudes superiores al volumen viscoso porque es más ordenado y cerrado el espacio de moléculas en la película, comparado con el volumen líquido,
- Repulsión eléctrica doblecapa en sistemas iónicos: Se refiere a las fuerzas polares que estabilizan la pared burbuja,
- Repulsión entrópica en sistemas no iónicos: Se refiere a las fuerzas que contribuyen a mantener dos películas poliméricas a partir de la aproximación de uno a otro también contiguamente, en concordancia con los principios de la entropía.

Morfología de la espuma.

En las espumas reales es necesario distinguir entre espumas “húmedas” y espumas “secas”. En una espuma húmeda el contenido de líquido es elevado y, por tanto, todas las paredes de la celda son gruesas. Como consecuencia, las celdas, suficientemente alejadas unas de otras, no resultan distorsionadas. De aquí que las celdas en cuestión sean esféricas, por la misma razón que lo son las gotas de agua. A medida que el líquido abandona la espuma, es decir, a medida que la espuma se “seca”, su geometría se torna más compleja, convirtiéndose las espumas esféricas en espumas poliédricas.

Capítulo II. Espuma en Destilerías

La espuma en destilerías: una fuga silenciosa.

La espuma en destilerías de alcohol a partir de las mieles finales constituye un hecho de significativa importancia desde el punto de vista técnico – económico, medioambiental y social, debido al efecto perjudicial que trae consigo el inadecuado control de la misma en sistemas de proyectos en los que tiene ocurrencia. Estos sistemas de proyectos incluyen las salas de prefermentación, fermentación, la sala de destilación, flujos de residuales, así como equipos de instrumentación y control. En el caso específico de las destilerías que se dedican a la recirculación de levaduras según el método Melle – Boinot, es de vital importancia el seguimiento de la misma en los sistemas de separación, de recirculación y enfriamiento.

Las razones por las cuales la espuma constituye una fuente indeseada en destilerías de alcohol se muestran de forma general a continuación.

La espuma puede:

- Ocasionar considerables pérdidas por concepto de derrame,
- Reduce la capacidad de los sistemas abiertos,
- Alterar las condiciones de protección e higiene del trabajo,
- Incrementar los costos de limpieza general,
- Interferir en los instrumentos del proceso, metros, sensores, bombas, separadoras y filtros,
- Produce un percibido impacto ambiental negativo y establece pobres relaciones comunes cuando son descargados en zanjas, lagos o ríos,
- Otros.

La formación de espuma en los citados sistemas de proyectos tiene un origen prácticamente diferente tanto desde el punto de vista mecánico como en cuanto a la composición química y la variación que sufren los componentes responsables de la aparición de la espuma. Esto se debe a las condiciones de operación de cada uno de estos sistemas, las cuales están diseñados para desempeñar funciones diferentes. Es por ello que analizaremos por separado los aspectos relacionados con la formación de la espuma y las consecuencias que trae consigo en dichos sistemas de proyectos.

Prefermentadores.

En el caso de los prefermentadores la espuma tiene lugar gracias al rico contacto que se establece entre las fases gaseosa y líquida, siendo originada por un adecuado suministro de aire por debajo de la superficie líquida para lograr la propagación de las levaduras que actuarán como catalizadores biológicos en la posterior etapa de fermentación. A este suministro de aire de forma externa se suma el dióxido de carbono generado por la reacción química de degradación del sustrato para la obtención de biomasa. Esta mezcla gaseosa asciende a lo largo del prefermentador en forma de burbujas de diversos tamaños que se acumulan en la superficie gracias a la presencia de moléculas reductoras de la tensión superficial

del líquido en cuestión. El volumen de espuma formado será una consecuencia del equilibrio entre la velocidad de formación de la espuma y la velocidad de desaparición.

Comparativamente esta etapa requiere de un mayor cuidado en el control de la espuma a través de los métodos químicos – físicos conocidos debido a que la evolución de la misma es más severa y el tiempo de observación es mayor que en los fermentadores. Esta diferencia se debe a que la concentración de sustancias de superficie activa es mayor y el contacto entre las fases líquido y gas resulta suficientemente establecido.

Entre las sustancias que actúan como los agentes responsables de la aparición de la espuma podemos mencionar a los polímeros superiores presentes en la miel como son los hidratos del carbono, resinas, gomas vegetales y las proteínas que tienen lugar en la propagación de las levaduras, incluyendo la propia levadura, entre otros componentes no menos importantes.

La situación actual en las destilerías cubanas respecto al control de la espuma no es la más saludable debido a que se opta por la sub-utilización de las capacidades existentes. Por esta razón los flujos de aire provenientes de sopladores y compresores son reducidos considerablemente con el propósito de disminuir el volumen de espuma para no correr el riesgo de posibles derrames. Este efecto trae como consecuencia una depresión en la actividad de propagación de las levaduras al restringir las condiciones nutricionales de la misma, reduciéndose así, de manera notable, la concentración de biomasa, la cual trae consecuentemente una afectación de la actividad fermentativa de los corbatos al obtenerse concentraciones alcohólicas inferiores a lo esperado para el ciclo de fermentación establecido.

Para tener una idea de estas consecuencias ilustraremos en la siguiente tabla un estudio realizado en las Destilerías del MINAZ del CAI Jesús Rabí y Enrique Varona, así como la Destilería de la Corporación CubaRon S.A.

Es bueno señalar que respecto a las destilerías del MINAZ se tomaron dos que emplean diferentes tecnologías, una de ellas se rige por el sistema clásico o de Jacquemin y la otra por el sistema Melle – Boinot. Para tener criterio de la concentración de biomasa se determina el conteo celular (expresado en millones/cc) y en el caso de la destilería de la Corporación CubaRon S.A. se determina mediante la concentración de alcohol en el prefermentador debido a la indisponibilidad de un microscopio óptico.

Destilería	Conteo Celular	N. Exp.	Norma	Empleando AE
CAI "Jesús Rabí"	84.23	281	100	119.86
CAI "Enrique Varona"	140.45	140	300 mínimo	–

	% Alcohólico	N. Exp.		Empleando AE
Corporación CubaRon	3.23	53	–	1.71

TABLA 1.

Como puede apreciarse en la tabla 1 las tres destilerías donde se efectuó el diagnóstico poseen una deprimida etapa de propagación del cultivo en relación con

lo establecido por las Normas y Manual para la Operación de Destilerías. La variable estudiada incluye las corridas experimentales que se reportan en la hoja de control de cada destilería (Conteo Celular) para un número señalado como N.Exp. La columna designada como "Empleando AE" se refiere a las corridas efectuadas empleando un antiespumante, obteniéndose, como puede apreciarse, mejores resultados respecto a lo establecido.

Fermentadores.

En el caso de los fermentadores no es menos cierto que la espuma en ocasiones nos brinda una información acerca del estado de la fermentación y actúa como una capa de sellaje manteniendo las condiciones de anaerobiosis, al igual que en los prefermentadores mantiene las condiciones favorables de aerobiosis. A pesar de lo anterior, este aspecto resulta suficientemente insignificante comparado con las desventajas que proporciona la presencia de la espuma en dichos sistemas.

La espuma que tiene lugar en los fermentadores se debe al aire ocluido debido al chorro que cae encima de la superficie líquida en la operación de llenado (refrescos); tiene además vital contribución el dióxido de carbono generado por reacción química que sigue la ruta glucolítica y el que se genera también según vía ciclo de Krebs y siguiendo la cadena respiratoria para dar lugar a la producción de biomasa. Este gas sube hasta la superficie en forma de burbujas hasta concentrarse formando un volumen de espuma que alcanza una altura que depende de las condiciones en que se desarrolla la actividad fermentativa.

Esta evolución de la espuma no debe ser motivo de preocupación hasta después de efectuado el último relleno, para el cual deberá tenerse un extremo cuidado en la operación de llenado ya que el volumen de espuma crece y crece también el nivel del líquido ocasionando frecuentes derrames que afectan negativamente en los índices de mieles. La observación de la espuma deberá efectuarse al cabo de dos horas como máximo después del llenado del fermentador, de modo que será el tiempo en que la espuma debe ser controlada.

Las destilerías que emplean sistemas de enfriamiento a través de intercambiadores de placas u otros similares están provistas de un medio de agitación que ocasiona oclusión de aire en el medio fermentativo, favoreciendo con ello la aparición de la espuma. Generalmente estas destilerías ejercen una práctica obligada en la actividad supresora de la espuma.

De forma similar a los prefermentadores, las destilerías cubanas optan por desaprovechar las capacidades y no emplear agentes despumantes o antiespumantes para el control de la espuma en estos sistemas debido a los elevados precios adquisitivos que poseen los comerciales en el mercado internacional.

Es notorio aclarar que la subutilización de las capacidades en los fermentadores disminuye las pérdidas de mieles por derrame pero no resulta el método más adecuado debido a que se sigue corriendo el mismo riesgo en dependencia de la severidad de la espuma. Otro factor de vital importancia es el incremento del costo unitario de producción de manera notable al reducir las capacidades fermentativas con tal propósito.

A continuación mostraremos como se comporta el aprovechamiento de las capacidades en la sala de fermentación en diversas destilerías del país.

Destilería del CAI "Jesús Rabí".

Datos puntuales que son representativos de la fábrica, tomado del día 4 de Abril de 1996.

ID Fermentador	Altura utiliz.	Volumen utiliz.	%Alcohólico	Litros de Etanol
1	2 pie	13 022 L	6.55	852.94 L
2	2	14 576	5.41	788.56
3	2	13 071	6.17	806.40
4	2	14 642	6.40	937.09
5	–	–	–	–
6	2	15 012	5.58	837.67
7	2	13 071	6.55	856.15
8	2	12 342	6.35	783.72
TOTAL	14	95 736	–	5 862.53

TABLA 2.

Los valores reportados de cuanto alcohol deja de producir la Destilería "Jesús Rabí" en una jornada de operación (24 h) alcanza valores considerables. Estos valores varían de acuerdo a circunstancias que deben ser prevenidas a la hora de decidir hasta que nivel se llenarán los corbatos.

Destilería del CAI "Enrique Varona"

Datos promedios recopilados de los archivos del laboratorio.

ID Fermentador	Altura máx.	Altura útiliz	Altura trabaj	Factor conv.	Incremento
3	750 cm	730 cm	698.393 cm	269 L/cm	8 502.3 L
4	730	710	687.241	235	5 348.4
5	750	–	–	266	0 (Por Roturas)
6	730	710	689.231	277	4 714.6
7	750	–	–	277	0 (Por Roturas)
8	730	710	686.607	277	5 310.2
Total	4 440 cm	–	–	–	23 875.511 L

TABLA 3.

Descripción estadística de la variable % Alcohólico de los fermentadores:

Variable	Media	Varianza	N corridas
% Alcohólico	5.4456	0.19396	159

La Destilería podría incrementar sus producciones en valores próximos a los 1 300 litros de etanol al día.

Destilería de la Corporación CubaRon S.A.

Todos los fermentadores poseen semejantes dimensiones, de los cuales sólo siete de ellos se encuentran en funcionamiento. Los datos de la riqueza alcohólica son referidos a valores promedios.

Ferm.	Altura máx.	Altura útiliz	Altura trabaj	Factor conv.	Incremento
2	20 pie	18 pie	15 pie	22.2 m ³ /pie	66 600 L
Total = 7func.					466 200 L

TABLA 4.

Descripción estadística de la variable % Alcohólico de los fermentadores:

Variable	Media	Varianza	N corridas
% Alcohólico	5.1368	0.1366	259

La Destilería podría incrementar sus producciones en valores próximos a los 19 000 litros al alcohol al día.

A modo de resumen podemos decir que las potencialidades que ofrece el control de la espuma en la fermentación dependen de las capacidades instaladas en cada destilería, así como de las posibilidades que ofrece la espuma para que sean aprovechadas. Por este concepto una destilería podría adquirir determinados agentes de control de espuma sin el riesgo de incrementar su costo unitario de producción, siempre y cuando se tenga en cuenta que estos productos, a pesar de otros beneficios, pueden incrementar potencialmente su volumen de producción, contribuyendo a una mayor eficiencia del proceso.

A continuación ofrecemos una expresión matemática como criterio práctico y económico que permitirá a los productores de alcohol tomar decisiones acerca de la compra de productos antiespumantes. Es bueno aclarar que esta expresión hace sólo una reflexión desde el punto de vista que ofrece el antiespumante para incrementar la producción alcohólica a expensas de un incremento de miel y de la adquisición de dicho antiespumante.

Como criterio económico preliminar debe emplearse el término N_o , el cual expresa el consumo de antiespumante diario que garantice un efecto nulo desde el punto de vista económico por el concepto anteriormente expresado. Nótese que la expresión no incluye otros beneficios que trae la práctica de dichos antiespumantes, y ni siquiera el aspecto relacionado con la disminución de las pérdidas por concepto de derrame.

$$N_o = \frac{\Delta N_{EIOH} \cdot pu_{EIOH} - Cu_{miel} \cdot \Delta N_{miel}}{Cu_{AE}}, \text{ consumo de efecto nulo,}$$

donde: $\Delta N_{miel} = \frac{\Delta B \cdot (\text{Brix de la miel diluida}) \cdot \rho}{\text{Brix miel pura consumida}}$, es el incremento de la miel consumida,

pu_{EIOH} es el precio unitario del tipo de alcohol que es extraído, \$/L

ΔN_{EtOH} es el incremento de la producción de alcohol, L

C_{uAE} es el costo unitario del antiespumante que es adquirido, \$/L

$C_{\text{u miel}}$ es el costo unitario de la miel, \$/Kg

ρ densidad de la miel diluida (batición), Kg/L

y ΔB es el incremento de la batición, L.

El problema consiste en determinar de modo experimental el consumo del antiespumante a adquirir, dicho valor debe ser inferior al calculado por la expresión anterior y mientras mayor sea esta diferencia tanto más positivo resultaría desde el punto de económico puesto que el costo unitario de producción sería menor y dicho producto, técnicamente hablando, autofinanciable.

Si los índices de consumo diario del antiespumante de interés resultan superiores a los que reporta el valor N_o calculado, entonces el comité deberá analizar otros factores de forma general, en los cuales no debe dejarse parar por alto la estimación de las pérdidas que se producen por el derrame de la espuma en la sala fermentativa. A continuación haremos una reflexión sobre este aspecto.

La literatura internacional hace referencia al contenido de líquido que predomina en las espumas acuosas, los cálculos efectuados relativo a la espuma que tiene lugar en destilerías reportan un contenido coincidente del 5%. Este valor resulta lo suficientemente preocupante cuando del derrame de la espuma se trata. Las pérdidas en fermentadores son variables y dependen de diversos factores. Los volúmenes de espuma derramada puede alcanzar en un día de operación hasta más de 5 m³ en las condiciones actuales de procedimiento.

Columna de Destilación

Los sistemas espumantes serán de anticipada inundación si la espuma no se rompe rápidamente dentro de las fases líquido – vapor (Harrison y France, 1989). El flujo de vapor ascendente empujará su seudofase de mayor densidad hacia arriba a través de la columna, creando una mayor resistencia al líquido que desciende. Expertos han desarrollado pruebas a nivel de laboratorio a diferentes condiciones de la alimentación y de operación, confirmándose a menudo un problema de espuma que deberá ser resuelto a través de un agente antiespumante.

Tanta importancia tiene la formación de espuma en estos sistemas que se tiene en cuenta a través de coeficiente de inundación para el diseño de las columnas destiladoras.

Mosto de destilería.

Los residuales de la destilería resultan suficientemente nocivos para el medio ambiente en que son descargados. Es por ello que ha sido objeto de estudio por parte de diversos especialistas con el propósito de aprovechar estos residuales con otros fines y lograr llevar a cabo un tratamiento que minimice el impacto ambiental. Sin embargo, un aspecto que poco ha sido analizado es el efecto desfavorable que ocasiona la presencia de la espuma en dicho residual.

El impacto ambiental negativo que ocasiona la espuma en el mosto de destilería se debe a las pobres relaciones comunes que se establecen en lagos y ríos y otros

lugares donde son descargados. Esto se debe a la afectación a la transferencia de oxígeno requerido para biodegradar la materia orgánica presente en la misma. Esta resistencia a la difusión del oxígeno se debe a la capa de sellaje que produce la espuma sobre la superficie del residual, el cual debe vencer las numerosas películas que conforman la celda de espuma al mismo tiempo que en oposición fluye el flujo ascendente de biogás que se genera en la biodegradación del sustrato orgánico

Capítulo III. Control de la Espuma

Control de la espuma. Acerca de los Antiespumantes.

Para evitar la generación de la espuma, se deben minimizar las prácticas con agitación en la interfase gas – líquido, el excesivo vacío y gradiente de presión, la libre caída de los líquidos y la concentración de los constituyentes de la espuma en el proceso.

Existen diversas posibilidades para combatir la espuma no deseada. Los mismos se generalizan del siguiente modo:

Métodos mecánicos: Los cuales pueden destruir la espuma en unos casos y en otros sólo la destruyen parcialmente. Estos mecanismos pueden ser la agitación, pulverización del agua, a través de un silbido sónico, calentamiento de la espuma sobre la superficie del líquido, aspersion de la espuma, etcétera.

Métodos químicos: Los cuales se llevan a cabo a través de sustancias químicas que pueden actuar destruyendo una espuma ya formada o profilácticamente evitando la formación de la nueva espuma. los primeros son conocidos como despumantes y los segundos como antiespumantes a pesar de que algunos autores no consideran la diferencia entre una definición y otra. Los productos que se comercializan cumplen ambas funciones.

Otros métodos mecánicos han sido aplicados en generadores de energía donde el agua de alimentación impura ocasiona trastornos en su funcionamiento, para este fin han sido diseñados tubos antiespumantes que resuelven el problema en buena medida (Faires, 1969). Anteriormente a esta invención se empleaba el aceite de ricino para la supresión de la espuma.

Hoffman propone para sistemas de fermentación aeróbica un equipo para separar los componentes líquido y gas de la mezcla espumosa en un envase en el que terminan la línea de alimentación para mezclas líquido – gas y las líneas de retiro; el mismo tiene conectada una turbina en la porción superior (US Pat. 4, 610, 701., 1986), (US Pat. 4, 553, 990., 1985).

Para la elección entre un método u otro o una combinación de ellos es necesario tener en consideración los siguientes aspectos sugeridos por McGee:

- Costo – precio, tan bajos como el total de los costos sobre la vida de los proyectos,
- El impacto sobre efluentes, evaporadores, líquidos reciclados, filtros y otras partes de los sistemas de proyectos,
- Sensibilidad a los cambios en la acción de alimentación, condiciones del proceso y rendimiento, y cual de estas fluctuaciones pueden ser controladas adecuadamente por el equipo designado,
- Los clientes necesitan saber qué método es efectivo para el control de la espuma y que pueda ser comerciable.
- Los antiespumantes necesitan ser formulados para tener un impacto mínimo tanto en los productos como en los equipos de procesos. Por ejemplo,

cuando el ingeniero está operando puede considerar los residuos de antiespumantes que adversamente afectan la apariencia del producto o su funcionamiento, tan bueno como tales operaciones como el intercambio de calor, filtración y desarrollo microbiano o inhibición de los equipos. Tales problemas pueden ser minimizados por la propia formulación de los productos y el eficiente uso de los agentes controladores de la espuma.

Generalmente los productos requieren de bajas dosificaciones y también proporcionarán un impacto mínimo sobre los factores en productos y procesos.

Modo de acción de los antiespumantes.

El modo en que obran los agentes químicos de eliminación de la espuma aún no ha sido explicado con plenitud. Se supone que los antiespumantes al entrar en contacto con la espuma hacen retroceder de la película líquida a aquellas sustancias formadoras de espuma, las cuales son las responsables de su estabilidad; de modo que ejercen su acción desplazándolas de la superficie líquida deseatabilizándola hasta el colapso de la misma.

La formación de espuma se ve truncada debido a la diseminación del antiespumante en la superficie líquida y debido a que carece de la elasticidad que se necesita para lograr una espuma estable.

Según estudios efectuados en la Universidad de Matanzas (Hernández y Medina, 1995), algunos de estos criterios no son necesariamente generales, debido a que se han desarrollado composiciones con propiedades antiespumantes que poseen la elasticidad necesaria para formar una espuma suficientemente estable, cuya actividad superficial supera a la de los componentes formadores de espuma presentes en la película, logrando su desplazamiento. La naturaleza antiespumante se pone de manifiesto a bajas concentraciones. Véase las especificaciones en próximos acápite.

De forma general los antiespumantes tienen un elevado coeficiente de difusión, el cual es definido como S ,

$$S = \gamma_F - \gamma_A - \gamma_{AF}$$

donde: γ_F es la tensión superficial del líquido espumante,
 γ_A es la tensión superficial del antiespumante y,
 γ_{AF} es la tensión interfacial.

Algunos agentes supresores de espuma.

El primero en describir la destrucción de la espuma a través de un método químico fue Quincke según el efecto que produce el vapor de éter sobre la espuma de jabón; después tuvieron aplicación como agentes supresores de espuma los aceites vegetales, animales y minerales.

La industria química ofrece hoy un gran número de agentes supresores de espuma que presentan gran variedad de sustancias, de modo que para combatir un determinado tipo de espuma se emplea con provecho un particular tipo de antiespumante, tal es el caso de las marcas Antispumin empleados en la fabricación de azúcar de remolacha, donde para cada etapa del proceso se emplea un particular tipo de antiespumante.

Según Ross, fue muy empleado el alcohol octílico en la fabricación de azúcar y papel, en el estampado de textiles, para extender pegamentos y como antiespumante en general. El diisobutilcarbinol suele ser igualmente efectivo y es muy empleado en la neutralización de ácido sulfúrico de desecho con carbonato cálcico.

En la industria azucarera y de levadura, Dietsche y colaboradores sugieren productos de oxialquilación (US Patent 4753885, 1988).

Se usaba mucho para evitar la formación de espuma en calderas de vapor el aceite de ricino, con este fin son más efectivos los glicoles polimerizados superiores y sus éteres, que solían venderse en el mercado con el nombre de Ucombrand Fluid. Las amidas de ácidos grasos superiores son también muy eficaces, en particular, las poliamidas como la N,N' - diestearoiletilenodiamida (US Patent 1, 892, 857., 1933).

Otros agentes antiespumantes para diversas aplicaciones son los ácidos grasos y sus ésteres (US Patent 2, 390, 212., 1945) (US Patent 2, 304, 304., 1942), el aceite de pino, los lactatos de alquilo, los éteres superiores como el 2-(di-ter-amilfenoxi)-etanol, los fosfatos orgánicos y los jabones metálicos. Son también efectivos los aceites, grasas y ceras, algunos surfactantes y una gran variedad de partículas hidrófobas (McGee, 1989).

El aceite de soja en granos, aceites minerales y sílice finamente dividida, un monoéster con ácido graso insustituído de glicerol y un éster similar de un sorbítico polioxialquilado (mezcla) constituye una valiosa composición para el control de la espuma en fermentaciones por su estabilidad a la esterilización (US Patent 4451390, 1984).

Un surfactante poliéter y un éster con ácido graso y alcohol polihídrico resulta una buena formulación antiespumante/despumante (US Patent 4950420, 1990),

Para sistemas acuosos Abel y colaboradores sugieren un antiespumante que contiene una sal alcalina de C10 a C24 de ácido graso, un éster dialquil de un ácido dicarboxílico no saturado, un aceite mineral, un emulsificante no iónico y un emulsificante aniónico (US Patent 4880564, 1989).

Dimas elaboró un antiespumante/despumante para procesos Bayer en cual consiste en un surfactante poliéter y un éster de ácido graso de alcohol polihídrico (US Patent 5346511, 1994), efectivo para reducir la espuma de licores en procesos Bayer.

La mayoría de los agentes inhibidores de espuma son insolubles y se aplican en forma emulsificada. Ross y McBain demostraron que para que un aditivo sea eficaz no es necesario que sea insoluble y llegaron a la conclusión de que la inhibición de la espuma se puede lograr por más de un mecanismo.

Los agentes antiespumantes más variados y eficaces se encuentran en el grupo de los siloxanos o siliconas. Los típicos agentes controlantes de la espuma incluye al dimetilsiloxano, alquilsiloxano, trifluoropropil siloxano.

La silicona como agente antiespumante prevé la espuma de una dilución de hidróxido de sodio y entre sus ventajas se encuentra que no afecta la flora microbiana.

A continuación se presenta un resumen generalizado respecto a los agentes de supresión de espuma conocidos por la literatura internacional de patentes. Estos grupos pueden dividirse, a grosso modo, en los siguientes: (se incluyen las formulaciones más relevantes)

SILICONAS

- Mezcla de polímeros con ácido alcalinado,
- Mezcla de siliconas y cargas hidrófobas
- Mezcla de silicona con almidón soluble en agua, almidón modificado soluble en agua y arcilla mineral y otros.
- Mezclas de silicona y un ácido graso o un alcohol graso
- Mezcla de organopolisiloxanos
- Mezcla de polisiloxano con sílice hidrófoba, ácidos grasos y un jabón de ácidos grasos
- Mezcla de un organopolisiloxano lineal y una resina de silicona característica
- Organopolisiloxanos
- Polimerización de radicales libres
- Emulsión acuosa de una silicona usando un sucroglicérido como emulsificante
- Dispersión de silicona en un hidrocarburo aromático
- Mezcla de silicona, jalea de petróleo fosfato de alquilo y sílice hidrófoba
- Mezcla de hidrocarburos parafinados, ácido silícico e hidrocarburos parafinados líquidos
- Mezcla de un aceite de silicona de baja viscosidad, aceite de silicona de alta viscosidad, un ácido silícico hidrófobo y zeolita en polvo

TENSOACTIVOS

- Tensoactivos del grupo del ácido perfluoro alquilofosfónico de C6 a C18 y sus sales
- Condensado polioxialquileno no iónico soluble en agua
- Mezcla de un tensoactivo poliéter y un alcohol polihidroxílico de un éster de ácidos grasos
- Sal cálcica o magnésica de un aceite vegetal.

ALCOHOLES, ACIDOS GRASOS, ESTERES

- Emulsión directa de alcoholes de C12 a C26 residuos de destilación, ésteres de ácidos grasos y un hidrocarburo con p.e.>200 C estabilizada por partículas finas hidrófobas.
- Emulsión de un producto de reacción de un polioliol, un anhídrido de ácido dicarboxílico alifático y un producto de adición de un polialquilenglicol de ácido graso, de un dialquiléster de un ácido dicarboxílico no saturado y un aceite mineral y una alquilendiamida
- Estabilizada por emulsionantes no iónicos y aniónicos
- Mezcla de una sal de un metal alcalinotérreo de C10 a C24, un éster dialquil de un ácido dicarboxílico insaturado, un aceite mineral, una alquilendiamida y una mezcla de tensoactivos aniónicos y no iónicos.
- Mezcla de aceite de soja, un aceite mineral, sílice finamente dividida, un monoéster de ácido graso insustituido de glicerol, un éster de un ácido graso insustituido de un sorbitán polioxialquilatado.
- Una sal formada por un aceite vegetal y los cationes calcio y magnesio
- Emulsión acuosa de un éster de ácido graso y sacarosa
- Mezcla de alto punto de ebullición de cetonas, ésteres, alcoholes, aldehídos y un éster de ácido graso como el monooleato de sorbitán.
- Dispersión acuosa u oleosa de un monoéster o un diéster de alcohol hidroxiestearil con un ácido graso saturado.
- CERAS

- Mezclas de ésteres dialquilo y sustancias activas del tipo cera con puntos de fusión entre 80 y 160 C
- Suspensión de ceras de polietileno finamente divididas en un líquido orgánico con tensoactivos adecuados.

OTROS

- Productos de oxialquilación
- Formales mixtos
- Terpenos

Similares productos pueden diferir en orden y en magnitud en su eficiencia contra espumas específicas y en procesos específicos. Estas diferencias en el funcionamiento no son necesariamente indicativas en un buen o un mal antiespumante. Lo más probable es que ellos son el resultado del equilibrio producto – formulación de variables para arreglar las disímiles espumas.

Otros rasgos son igualmente importantes: la habilidad de los abastecedores de formular productos optimizados al especificar los arreglos necesarios para el control de la espuma y la firme habilidad del balance en la formulación de variables para la máxima eficiencia de costo y un impacto mínimo en el flujo del proceso, equipos y el ambiente.

Los especialistas en el control de la espuma pueden frecuentemente determinar cual de esta formulación está adversamente afectando la calidad de su producto. Ellos pueden ser capaces de reformular el despumante o antiespumante para minimizar cualquier residuo que no se necesita o cambios en el funcionamiento de su producto. Lo más importante son los cambios de las condiciones del proceso, el especialista en el control de la espuma debe responder a cualquier cambio rápidamente, un poco de forzamiento para el uso propio de la investigación y desarrollo del personal técnico para separar o desarrollar nuevos productos para llevar el problema de la espuma bajo un control pronosticable.

Debe tenerse en cuenta que el costo de un antiespumante debe ser siempre determinado como costo por unidad de producción.

Selección de los agentes que controlan la espuma.

Para obtener el óptimo agente que controla la espuma, el cual frecuentemente será la única formulación para la aplicación específica, un trabajo típico con el abastecedor es ir conduciendo y separando los experimentos. Basado en los resultados de estos experimentos, el abastecedor puede ir encontrando productos, desarrollar completamente nuevas formulaciones. Se deberá recomendar el régimen de marcha de aplicación y puede sugerir un método para ir adicionando el antiespumante o despumante.

Por ejemplo, el antiespumante puede ser medido dentro del flujo del proceso o adicionado directamente en el proceso a mano, el despumante puede ser derramado dentro del tanque a mano o aplicado mediante boquillas rociadoras montadas en la cámara del proceso. Idealmente, separando antiespumantes y su desarrollo debe ocurrir en el proceso en el cual el antiespumante es secado. Sin embargo, el potencial de rotura de fabricación frecuentemente evita escalas completas de ensayos. Amplias variedades de métodos experimentales de laboratorio son aprovechables para la evaluación y desarrollo de los antiespumantes.

Cuando se selecciona el método experimental deben ser considerados los criterios básicos sugeridos por McGee.

Primeramente el método deberá simular fuertemente las condiciones deseadas en las que el antiespumante o despumante ejercerá su función. Y el experimento intermedio debe ser similar en composición (preferiblemente idéntico) para la espuma intermedia en la cual el antiespumante o despumante sea esperado para simular su función.

El método experimental ha estado especificado por ASTM (antiguamente The American Soc. for Testing and Materials), las cuales incluyen las normas siguientes:

- *ASTM D 892-74*
- *ASTM D 1173-53*
- *ASTM D 3519-76*
- *ASTM D 3601-77*

Minimizando los costos en el control químico de la espuma

El uso indiscriminado de cualquier proceso químico puede resultar un gasto innecesario para la planta. Aquí son pocos los consejos para conservar los antiespumantes y de este modo, para reducir los costos se sugiere seguir las recomendaciones de los fabricantes.

Orientaciones tales como "mezclar detenidamente antes de usarse", "diluir antes de la aplicación", entre otras deben tenerse en cuenta.

La pre-dilución en agua o procesos líquidos frecuentemente mejorarán la eficiencia del antiespumante, salvo algunas composiciones de productos que no lo requieren. La estabilidad en la dilución (resistencia a la separación) debe estar examinada en el laboratorio antes del movimiento dentro de la producción de recipientes. Los mezcladores generalmente mejorarán la uniformidad de los antiespumantes diluidos. Pero el mezclado puede causar productos emulsificados por el corte, reduciendo su efectividad.

Se debe evitar de algún modo la contaminación microbiana. Con la creciente popularidad de los productos en base agua y agua extendida, el potencial por contaminación microbiológica aumenta. Si el antiespumante es diluido o acumulado por períodos prolongados después de que el empaquetado es abierto, se deberá consultar al fabricante para su adecuado manejo.

El desarrollo microbiano puede crear olores, decoloración, reducir la estabilidad y reducir su funcionamiento si no es controlado.

Se debe operar a los niveles mínimos. Las dosificaciones en ocasiones para "el peor caso" pueden estar por encima de los requerimientos del proceso normal. Para minimizar los costos se determinará la mínima dosificación para la situación y después volver a aquellos niveles normales de severidad de la espuma.

Finalmente, los dispositivos automatizados distribuidores de antiespumantes son convenientes. Sin embargo, antes de decidirse a instalar tal equipo, notar que es necesario un mantenimiento cuidadoso para su consistente funcionamiento.

Factores que inhiben la espuma en fermentadores.

Después de efectuarse en llenado del fermentador, como se ha expresado con anterioridad, los niveles de espuma alcanzan su máxima severidad, siendo preocupante su evolución por un intervalo práctico que oscila alrededor de dos horas. Este nivel de espuma es reducido por razones naturales vinculadas estrechamente con la actividad bioquímica que tiene lugar en el proceso. Los factores que mayor incidencia tiene en este fenómeno son la depresión de la cantidad de dióxido de carbono generado en el proceso junto con el agotamiento del sustrato y la generación de sustancias químicas de naturaleza antiespumante como son los alcoholes y otras sustancias que componen el aceite de fusel, teniendo importante contribución el alcohol amílico.

Algunas consideraciones mecánicas para el control de la espuma en fermentadores con sistemas de recirculación.

Para evitar la generación de la espuma, se deben minimizar las prácticas con agitación en la interfase gas - líquido, el excesivo vacío y gradiente de presión, la libre caída de los líquidos y la concentración de los constituyentes de la espuma en el proceso.

Analizando el efecto que produce *el modo en que se realiza la recirculación* en la evolución de la espuma debemos tener en cuenta lo siguiente:

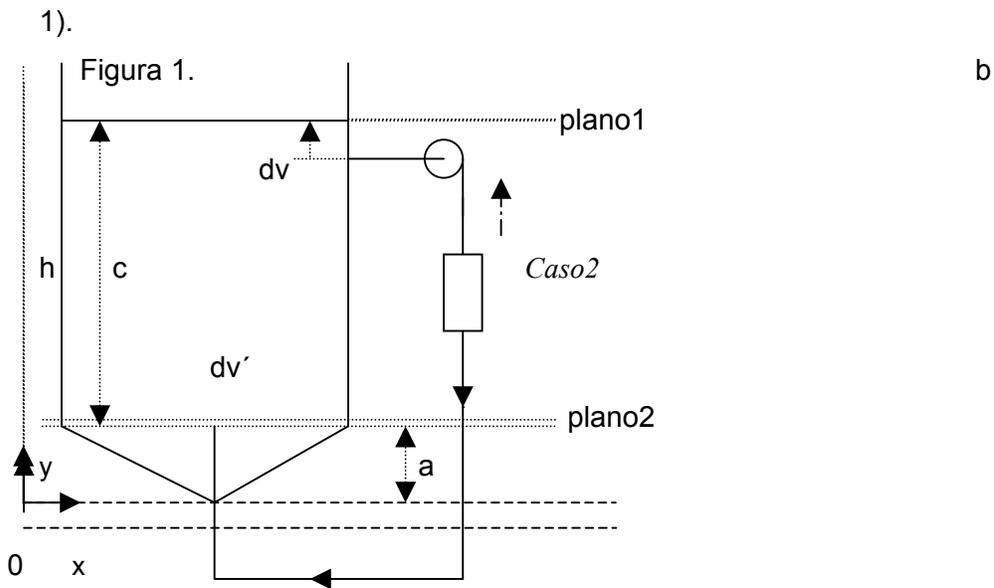
Es conocido que la cantidad de espuma formada en un proceso es el resultado del equilibrio entre la velocidad de formación y la velocidad de su desintegración. Para el análisis consideremos que no se emplean prácticas externas para el control de la espuma tales como el uso de antiespumantes u otros métodos mecánicos al efecto. Es decir, que la espuma formada en el proceso de fermentación es el resultado de su equilibrio interno, la cual tiene en cuenta la espuma formada a expensas del flujo de CO_2 generado por reacción química u otro gas suplementado y la concentración de tensoactivos capaces de cubrir las burbujas que llegan hasta la superficie. En oposición a este proceso actúan la evaporación inevitable en las condiciones de la fermentación, la vibración mecánica y la difusión de las burbujas más pequeñas hasta las mayores, entre otros factores.

Para estudiar más claramente el problema consideremos primeramente las diferencias que se producen respecto a la evolución de la espuma en un fermentador con sistema de recirculación, (*sus variantes y disposición geométrica*) y en otro que no lo emplea y posteriormente se analizará por separado las diferencias de las variables macroscópicas que afectan la evolución de la espuma entre dichos sistemas.

1. Efecto que produce el modo de recirculación, disposición geométrica del mismo y geometría del fermentador.

La velocidad de formación de la espuma es una función del número de burbujas N_B , que llegan a la superficie A_S en una unidad de tiempo t . De modo que podemos escribir la velocidad de formación de espuma como:

$$V_F = f\left(\frac{N_B}{A_S \cdot t}\right); \text{ (que es lo mismo en función del flujo de gas) } \quad \text{(ecuación 1).}$$



Sea dv una porción hipotética del fluido succionado en las cercanías de la superficie líquida (a una distancia b) por la bomba del sistema de recirculación. Dicho volumen hipotético contiene N burbujas que incluye cierta masa de batición en fermentación. Supongamos para el análisis que la porción hipotética se mueve armónicamente en el mismo sentido que las burbujas y que el período de vida se corresponde con el tiempo en que demoran las burbujas en alcanzar la superficie. Supongamos además que la succión de la bomba está tan próxima a la superficie como alejada está la descarga, (de modo que $c \gg b$. Figura 1).

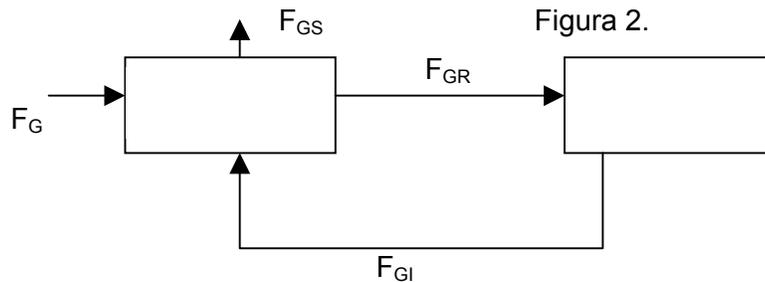
Si esta porción del fluido asciende a la superficie requerirá un tiempo t_b en recorrer el camino b y esta porción producirá un incremento de ΔN_b burbujas, de modo que su contribución a la espuma sería de $(N + \Delta N_b)$ burbujas. Caso contrario de que este diferencial de volumen sea succionado por la bomba de recirculación, entonces en tiempo de vida de la región hipotética sería mayor que el señalado t_b , lográndose, según el tiempo de residencia, una mayor producción de CO_2 , siendo el incremento de $(N + \Delta N_{RC})$; donde $\Delta N_{RC} > \Delta N_b$. A este modo de efectuar la recirculación le denominaremos *Recirculación en Contracorriente* o *Recirculación con CO_2 incrementado*, la misma se caracteriza porque la recirculación del líquido se realiza en contracorriente respecto al ascenso de las burbujas y la descarga del líquido reciclado se realiza en paralelo, incorporándole al medio un suministro de CO_2 producido en la etapa de recirculación.

A medida que la descarga sea más próxima al plano 1 (mayor distancia de "a"), la formación de espuma será más favorecida, debido a que las burbujas llegarán más

rápido a la superficie, es decir, se incorporan a la espuma mucho más burbujas en la unidad de tiempo.

¿Por qué la Recirculación se efectúa con CO₂ incrementado?.

El balance de materiales del proceso que se ilustra en la figura 1 puede ser descrito a través del siguiente diagrama de bloques:



- F_G..... Flujo de gas que se genera en el fermentador
- F_{GS}..... Flujo de gas que sale a la superficie
- F_{GR}..... Flujo de gas que se recircula
- F_{GI}..... Recirculación de gas incrementada

$$F_{GS} = F_G + F_{GI} - F_{GR} ; \text{ como } F_{GR} = \chi F_{GS} \text{ y } F_{GI} = F_{GR} + \Delta ,$$

$$\text{entonces: } F_{GS} = F_G + \Delta$$

(ecuación 2)

donde Δ es el incremento de CO₂ generado por reacción química en el sistema de recirculación.

En el caso contrario de que el fermentador no disponga de sistema de recirculación la ecuación 2 quedaría como: $F_{GS} = F_G$, (ecuación 3)

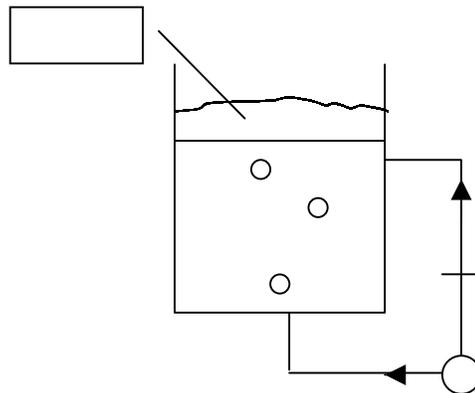
De modo que la diferencia entre los mismos sería del valor de Δ señalado. Nótese que el procedimiento no tiene en cuenta el modo en que se realiza la recirculación. Respecto al sistema sin recirculación se creará un mayor problema de espumación, debido a que se incrementa el volumen de gas que llega a la superficie por unidad de tiempo como se señaló anteriormente.

Haciendo algunas modificaciones en la Figura 1 se puede analizar el caso cuando el fluido es tomado del fondo y enviado a las proximidades de la superficie (obsérvese el sentido de la flecha en la figura: *Caso2*). Este caso recibirá la designación de Recirculación en Paralelo con entrada Cruzada al fermentador. La porción hipotética dv' ubicada en el fondo del fermentador (plano2) se caracteriza por contener menos burbujas que la porción hipotética dv (próximas al plano1), debido a que la materia orgánica existente por encima de este plano contribuye en cuanto número de burbujas que llegan al plano1 sin "darse por enterado" siquiera el plano2. Este diferencial de volumen tomado del fondo requerirá de igual modo un tiempo t_R en llegar a la superficie, el cual será comparativamente menor que el que requiere para hacerlo desde el fondo hasta formar parte de la espuma por libre ascenso (t_a) debido a que la recirculación se efectúa en el sentido ascendente de

las burbujas, dotando a la porción hipotética de energía adicional para llegar a la superficie. Esta hipótesis presupone que el sistema de recirculación constituye el camino más rápido para que las burbujas contenidas en la región hipotética alcancen la superficie, para ello las dimensiones geométricas y disposición de las tuberías juegan un importante papel.

Otro aspecto que merece la atención es la forma en que la porción hipotética llega a la superficie, cuyas líneas de flujo cruzadas pueden actuar obstruyendo el ascenso de las burbujas, actuando como un impedimento o resistencia a las mismas, retardando en dependencia de la velocidad de reflujo, el tiempo en arribar a la superficie. Este hecho hace posible plantear que el tiempo ganado en el sistema de recirculación puede perderse por la resistencia ofrecida por la alimentación cruzada en la superficie, es evidente que este factor depende del nivel que se elija para la descarga cruzada (véase la figura 4).

A pesar de lo anteriormente dicho, esta hipótesis resulta a mi juicio suficientemente cuestionable debido a que la recirculación puede efectuarse a una velocidad tal que, independientemente del poco incremento en el número de burbujas o volumen de gas generado en la recirculación, puede llegar a establecerse que lleguen mucho más burbujas a la superficie para un período de tiempo determinado a través de la recirculación.



Hagamos un pequeño análisis para cuestionar el problema comparativo entre el caso 1 y el caso 2:

Según la ecuación 2 la cuestión radica en estudiar que sucede con la región hipotética en uno y otro caso. Siendo los factores a analizar el incremento del flujo de gas, es decir, la determinación de las variaciones respecto a la cantidad de gas que se genera por unidad de tiempo.

Para ello analizaremos los siguientes elementos:

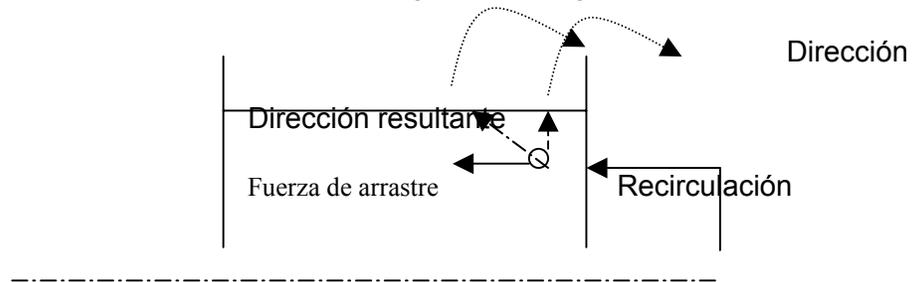
Elementos	Caso1	Relación	Caso2
Número de burbujas que llegan a la superficie, N	$NB1+\Delta N1R$	>	$NB2+\Delta N2R$
Tiempo en que demoran en llegar, T	$tR1+t2$	>	$tR2+t1+\Delta t$
Relación N/T como medida del flujo de gas	$N1/T1$	¿?	$N2/T2$

Resulta difícil decidir entre un método y otro sin antes haber realizado una caracterización cuantitativa de estas variables en el sistema de interés. Las diferencias que puedan surgir dependen en gran medida de la velocidad de reflujos permaneciendo otras variables constantes propias de la instalación.

Recuérdese que la región hipotética se mueve en el sistema de recirculación de acuerdo como lo hacen las burbujas de la región. Por este concepto el tiempo que permanecerá la misma en el sistema de recirculación será mayor en el Caso1 respecto al Caso2 debido a que fluyen ejerciendo fuerzas contrapuestas. Este factor será tan diferente cuanto mayor es la velocidad a la que tira la bomba.

De modo descriptivo el tiempo que demoran las burbujas en subir a la superficie dependen del camino a recorrer. En el caso de la recirculación cruzada (Caso2) debe tenerse en cuenta la desviación que sufren las burbujas antes de llegar a la superficie necesitando un Δt adicional para llegar a ella (Figura 4).

Figura 4.
normal

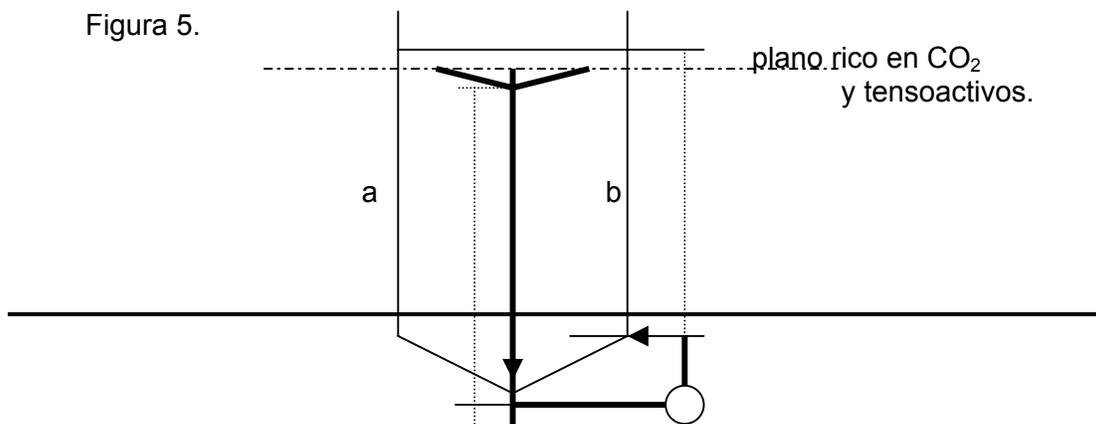


Si se logra una velocidad de descarga de la bomba hasta un valor tal que t_t se reduzca lo suficiente y Δt aumente, entonces me inclino a pensar que el caso2 ejercerá menor contribución a la formación de la espuma. A pesar de lo anteriormente dicho, esto debe ser comprobado a escala práctica entre sistemas idénticos que difieran sólo en lo especificado para una velocidad de descarga establecida.

Resumiendo algunos aspectos relacionados con el caso 2 podemos plantear que a medida que aumenta la distancia "a" mayores problemas de espumación se pueden derivar.

Ahora bien, analicemos el caso que surge a partir de una aumento de "a", a medida que aumentamos simultáneamente las dimensiones de "b", entonces estaríamos en un caso especial que se ilustra a continuación:

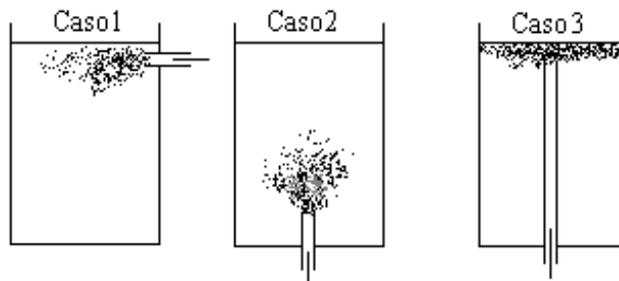
Figura 5.



Sistema con fuerte succión superficial

El caso representado en la Figura 5 (Caso 3) se caracteriza por una fuerte succión de la superficie en contracorriente con las burbujas ascendentes, el mismo realiza la descarga en forma cruzada por el fondo del fermentador. Se caracteriza como cualquier otro método de recirculación por el factor CO₂ incrementado.

Nótese que se diferencia considerablemente de los casos anteriores por el modo en que efectúa la succión, veamos la siguiente ilustración (Caso3):



Independientemente de que la disposición definida posee la peculiaridad de incrementar el flujo de gas en el medio fermentativo no se le dará un peso comparativo respecto al control diferenciado que ejerce sobre la fase gaseosa que llega a la superficie en el plano rico en CO₂ y moléculas tensoactivas. Este hecho hace que el sistema de succión definido actúe tratando de mantener dentro del sistema la mayor cantidad de gas, dificultando su salida a la superficie y limitando del mismo modo que las sustancias de actividad superficial estabilizadoras de la espuma cubran las burbujas que conforman la espuma. Este método posibilita que al igual que la fase gaseosa dentro del líquido, los agentes de superficie activa vayan hacia el fondo del fermentador y que recirculen en su interior en mayor medida que los casos anteriores. Lo más importante es mantener alejadas dichas sustancias de la superficie.

A medida que decrece la distancia "a", en el sistema se originarán mayores problemas de la espuma por el concepto antes explicado debido a la disminución de la fuerte tendencia de la succión de los componentes básicos para la aparición de la espuma.

Nótese también que la descarga de la bomba se efectúa en corriente cruzada con la evolución del gas, dificultando su fácil y libre ascenso a la superficie.

Como se ha podido apreciar resulta difícil decidir a priori cual método resulta más conveniente habiendo supuesto solamente las variaciones en el modo en que se dispone el sistema de recirculación. Es lógico pensar que para ello se deben tener en cuenta otros factores que en la práctica ejercen una notable influencia.

De lo hasta aquí visto resumimos de forma preliminar lo siguiente:

- Los sistemas de recirculación ejercen un efecto a favor de la aparición de la espuma.
- El caso 3 es al parecer el más favorable a emplear en destilerías, teniendo como orden el segundo caso y luego el primero. Estos planteamientos deben justificarse experimentalmente.
- En los casos 1 y 2 se recomienda una descarga o succión respectivamente lo más cercana al fondo.
- En el caso 3 se recomienda una succión lo más cercana a la superficie pero teniendo en cuenta la eliminación de la posibilidad de oclusión de aire de la superficie.
- A medida que los fermentadores sean más esbeltos más riesgo se corre de que ocurran derrames de la espuma.
- A medida que el sistema de recirculación sea más efectivo en el enfriamiento más riesgo se corre respecto a la evolución de la espuma.
- A medida que el sistema de enfriamiento garantice un mejor mezclado en el fermentador mayor riesgo de derrame de la espuma se corre.

Capítulo IV. Evaluación de Antiespumante Nacional en Destilerías.

Antiespumante de Múltiple efecto.

Los antiespumantes son muy empleados en procesos fermentativos y otros sistemas de procesos donde la formación de la espuma no deseada tiene lugar, esto se debe a los beneficios técnico-económicos y medioambientales que los mismos aportan. Sin embargo, estos beneficios se limitan por lo general sólo a los derivados del efecto supresor de la espuma, siendo los productos desarrollados monofuncionales por este concepto.

En la Universidad de Matanzas se han desarrollado composiciones antiespumantes de naturaleza modificadora de la tolerancia alcohólica de las levaduras, dotando a la levadura de mayor resistencia al etanol, siendo posible atenuar el factor inhibitorio debido a que se requerirá una mayor riqueza alcohólica con tal propósito.

Lo anterior ha sido resultado de las investigaciones realizadas desde mediados de 1995 con relación a los agentes químicos supresores de espuma donde se pudo constatar que es posible la obtención de antiespumantes de comprobada eficiencia a partir de composiciones lipídicas de origen vegetal en forma emulsificada. No fue hasta mediados de 1996 que el trabajo se orientó con la finalidad de obtener la dualidad bifuncional descrita anteriormente.

Es notorio señalar que las tecnologías descritas a este efecto se caracterizan por emplear procedimientos propios amparados por la Solicitud de Patente con número de registro 39/97.

Los formulados desarrollados cuyas composiciones se reivindican en el citado registro de autor de invención son:

Algunas de estas variantes han sido obtenidas a escala de planta piloto e industrial habiéndose comprobado su factibilidad tecnológica y económica.

Evaluación de los productos desarrollados. Materiales y Métodos.

Los productos desarrollados han sido estudiados en laboratorio en cuanto a su potencialidad de supresión de espuma sobre un medio espumoso constituido por detergentes sintéticos. El parámetro indicador del carácter antiespumante fue el efecto que produce sobre la espuma estática. Este estudio carece de rigor debido a las diferencias entre el medio a despumar en destilería y el empleado en la prueba, aunque da alguna idea de la naturaleza del formulado en cuestión. Es por ello que se realiza el estudio en un simulador, el cual fue diseñado para una mejor aproximación a las condiciones de la fermentación alcohólica.

Este equipo consiste en una celda de espuma cilíndrica graduada de 1.29 m de altura la cual está provista de un suministro de aire continuo y constante a través de un soplador. El flujo de aire es controlado a través de un flujómetro y la temperatura medida con un termómetro de escala 0 - 50 grados Celsius siendo regulada en un rango de 25 a 27 con ayuda de un termostato. Este equipo se basa en la determinación del tiempo de retención de la espuma o estudio Knock – Down para

una dosificación de antiespumante determinada. El mismo se caracteriza por la dinámica de la espuma a diferencia del anterior ensayo realizado y el medio a despumar está formado por una dilución de miel final a 20 grados Brix, la cual genera una espuma de relativa similitud a la que aparece después del último relleno de los fermentadores, instante en que se exige de un adecuado control de la espuma.

Como la evaluación de un antiespumante no se limita sólo al estudio de su potencialidad de supresión de espuma, sino que conlleva a un análisis riguroso sobre el efecto que produce en la fermentación, sistemas de proyectos y el producto terminado, nos trazamos como objetivos de la evaluación los que a continuación se señalan:

1. Carácter supresor de la espuma. Efecto que produce en la fermentación.
2. Efecto sobre la tolerancia alcohólica de las levaduras.
3. Estudio farmacológico del producto terminado "Alcohol Técnico A".
4. Valoración estadística de los resultados en la industria.

El plan experimental activo consistió en la dosificación manual y estática de la variante bajo estudio, obteniendo como variable de respuesta la altura de espuma eliminada en función del tiempo. Para ello se realizó la calibración del equipo a fin de determinar las variaciones de nivel.

Para la determinación del tiempo se empleó un cronómetro cuya clase es de 0.2 segundos.

Para el estudio del efecto que produce en prefermentadores y fermentadores se empleó el microscopio óptico, con el cual se efectuó, a la descarga, las siguientes determinaciones según normas cubanas:

- Conteo celular.
- Por ciento de gemación.
- Protoplasma celular.
- % de viabilidad y
- Contaminación bacteriana.

En el caso específico de los fermentadores se determinó el % alcohólico y la concentración de aldehídos según las normas establecidas.

El efecto del dispositivo dosificador estático se basó igualmente en las determinaciones realizadas sobre el nivel de la espuma en el tiempo.

El efecto que produce ve antiespumante evaluado sobre la tolerancia alcohólica de las levaduras consistió en la preparación a escala de laboratorio de un medio a fermentar a 20°Brix y un pH de 4.2 ajustados con H₂SO₄. El inóculo se preparó de acuerdo a las técnicas de utilización de levadura seca activa (Ingledew, 1990). Esta técnica consiste en disolver una cantidad de levadura (en masa) cinco veces menor que el volumen de agua a utilizar, estando la misma en un rango de temperatura de 38 – 40°C. La cantidad de inóculo adicionado a cada frasco fue de 2 ml. se utilizó levadura panadera liofilizada.

En el medio empleado no se utilizó nutrientes y las fermentaciones se desarrollaron en frascos de 500 ml con tapones de gasa para garantizar la anaerobiosis y la evolución de CO₂. Se adicionaron las cantidades de 0.02, 0.04 y 0.04 ml de

antiespumante por cada frasco respectivamente. El tiempo de fermentación fue de 96 horas.

En colaboración del Centro de Higiene y Epidemiología se realizó un estudio farmacológico del alcohol técnico A resultado de una muestra compuesta semanal obtenida en la producción donde la variante AE02 fue empleada. Con este propósito se emplearon las técnicas FARMACOPEA, las cuales consistieron en realizar los siguientes ensayos experimentales:

- *Solubilidad.*
- *Transparencia de la dilución.*
- *Peso específico.*
- *Acidez.*
- *Residuo no volátil.*
- *Componentes de aceites de fusel.*
- *Alcohol amílico o sustancias carbonizables no volátiles.*
- *Cetonas, Alcohol isopropílico y alcohol butílico terciario.*
- *Metanol.*

Resultados y Discusión.

1. **Carácter supresor de la espuma.**

- **Acción sobre la espuma estática:** A través de este ensayo pudo constatar-se la naturaleza antiespumante según la figura 1 ilustrada. Nótese el descenso más rápido de la

espuma (VE) cuando se dosifica el antiespumante respecto al lento descendimiento (VE0) ocasionado por el desagüe del líquido que abandona la película que conforma la espuma, la difusión de las burbujas más pequeñas hacia las mayores, la vibración mecánica, la evaporación y otros factores que son los factores intrínsecos desestabilizadores de la espuma.

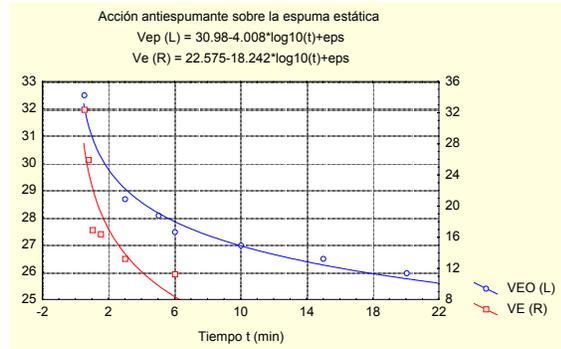


Figura 1

- **Acción sobre la espuma dinámica:** Los estudios en el ámbito de laboratorio respecto al efecto que producen los antiespumantes desarrollados sobre la espuma dinámica (estudio Knock – Down) arrojan que potencialmente pueden ser empleados para suprimir la espuma en destilerías de alcohol. En la figura 2 puede apreciarse los tiempos de retención de la espuma o el efecto Knock-Down, siendo la variante en base aceite de ceras la mejor de ellas, la cual se ha tomado como elemento comparativo

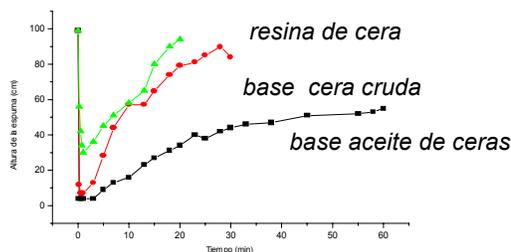


Figura 2.

- Las evaluaciones en las destilerías concuerdan con los resultados esperados tanto en los fermentadores como en los prefermentadores. La formación de espuma en estos sistemas es un proceso muy variable. Pequeñas dosificaciones de antiespumantes varían de acuerdo con la severidad de la espuma.

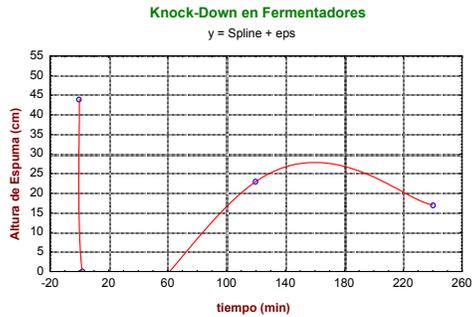


Figura 3.

En el gráfico de la figura 3 se muestran los resultados de la aplicación de la variante AE02 (formulado en base cera cruda de cachaza) en los fermentadores, reafirmando que el formulado obtenido posee naturaleza destructora de la espuma. Según los resultados obtenidos en los prefermentadores el flujo de aire ha podido incrementarse gracias a las posibilidades que brinda el antiespumante sin correr riesgos de posibles derrames.

Por esta razón los conteos celulares han podido ser incrementados desde un valor promedio de 84.23 histórico, véase la tabla 1 de la página 2, a 119 millones de células/cc, siendo en todos los casos superior a la norma (110) según se observa en la siguiente tabla 3 ilustrada.

<i>No de Prefermentador</i>	<i>Conteo Celular</i>
2	112
1	118
4	125
3	112
1	120
3	141
1	111

Tabla 3

Las dosificaciones en los fermentadores de la destilería “Jesús Rabi” resultaron efectivas en el rango de 0.026 a 0.031 litros de antiespumante por cada 100 litros de alcohol producido.

El efecto que produce el AE02 sobre la flora microbiana (*Levadura S.Cerevisiae*) resultan positivos en cuanto al estado del protoplasma, por ciento de viabilidad y contaminación bacteriana. Siendo el protoplasma normal, la viabilidad del 100% y la contaminación bacteriana suave. Véase los resultados obtenidos en laboratorio (Tabla 4 y 5), los cuales expresan el seguimiento de la fermentación (por un intervalo de 20 h) en cuanto a la variación del brix, pH, conteo celular, estado del protoplasma celular y viabilidad. Las variables sin especificación se refieren al experimento de referencia (patrón) y la de especificación “AE” se refiere a al experimento bajo estudio (con adición de antiespumante).

<i>Tiempo (h)</i>	<i>Brix</i>	<i>Brix AE</i>	<i>PH</i>	<i>PH AE</i>	<i>Conteo</i>	<i>Conteo AE</i>
0	15.13	15.13	5.1	5.1	38	38
2	13.32	12.96	5.0	5.0	25	41
4	11.00	10.28	4.8	4.8	24	41
6	9.24	9.06	4.6	4.6	53	24
8	8.64	8.46	4.5	4.5	3	12
10	8.04	8.04	4.5	4.5	8	6
12	7.86	7.86	4.5	4.5	10	8
14	7.54	7.54	4.5	4.5	8	4
16	7.31	7.31	4.5	4.5	6	3
18	7.28	7.28	4.4	4.4	3	8
20	7.28	7.28	4.4	4.4	6	2

Tabla 4.

El estudio estadístico de las variables empleando el Software Microcal Origin versión 4 a través de una prueba de hipótesis a un nivel de significación de 0.05, arrojó la inexistencia de diferencias significativas entre las variables observadas al emplear el antiespumante y sin emplearlo en la fermentación.

<i>Protoplasma celular</i>	<i>Normal en todos los casos</i>
<i>% Viabilidad</i>	<i>100 % en todos los casos</i>

Tabla 5

2. Efecto sobre la tolerancia alcohólica de las levaduras. Este aspecto ha sido estudiado a los niveles efectivos como antiespumantes, obteniéndose resultados sin diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre las variables observadas de concentración alcohólica de la fermentación desarrollada en presencia del antiespumante, en relación con la fermentación de referencia (sin antiespumante). En la figura 4 y tabla 5 se ilustran los resultados del formulado AE02 para diferentes dosificaciones. Según lo observado podemos plantear que el antiespumante objeto de estudio no ejerce efecto negativo alguno sobre la fermentación alcohólica. Es notorio señalar que en todos los casos la concentración de etanol resultó superior a la del patrón, habiéndose evaluado las dosificaciones efectivas del producto como antiespumante y no como modulador de la tolerancia al etanol de las levaduras, por lo que resulta de interés continuar los estudios al respecto.

Dosificación de AE (ml)	% Alcohol
0	8.56
0.02	8.63
0.03	8.67
0.04	8.63

Tabla 5.

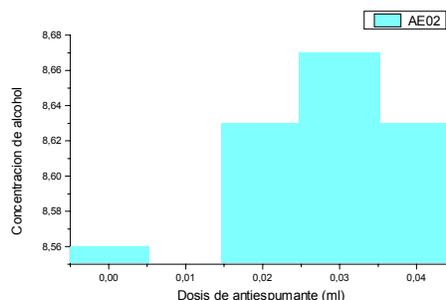


Figura 4.

3. Estudio farmacológico del Alcohol Técnico A producido. Este análisis se realiza con vistas a determinar el efecto que produce en el producto terminado desde el punto de vista toxicológico. Para el mismo se desarrolló un trabajo conjunto con el Centro de Distribución de Reactivos Químicos Provincial, los cuales son los responsables de analizar cuanto alcohol se destine en la provincia con fines farmacéuticos.

Los resultados fueron todos positivos y se muestran en la tabla 6, quedando demostrado que el antiespumante motivo de evaluación no ejerce influencia negativa alguna en las características del producto terminado ni en el proceso según lo anterior.

Ensayo	Resultado
<i>Solubilidad</i>	<i>Soluble en cloroformo, éter y agua</i>
<i>Transparencia de la dilución</i>	<i>Exenta de nubosidad</i>
<i>Peso específico</i>	<i>0.812</i>
<i>Acidez</i>	<i>Color rosado, persistente por más de 30 s</i>
<i>Residuo no volátil</i>	<i>0.93 mg</i>
<i>Componente de aceite de fusel</i>	<i>No es perceptible ningún olor extraño</i>
<i>Aldehídos y sustancias extrañas</i>	<i>No desaparece el color rosa</i>
<i>Metanol</i>	<i>No aparece color violado</i>
<i>Alcohol amilico o sustancia no volátil</i>	<i>No aparece el color rojo o pardo</i>

Tabla 6.

4. Valoración estadística de los resultados. Una vez finalizado los estudios necesarios se procedió a la aplicación del antiespumante en toda el área de fermentación y su posterior estudio estadístico de los resultados y así detectar alguna afectación en el proceso. Para ello se estudió la variable de mayor interés técnica, el % alcohólico comparativo entre una etapa donde se emplea el antiespumante AE02 y una etapa

cuyos valores de riqueza alcohólica se consultaron en los archivos de la fábrica (%Alcohol). Los mismos fueron seleccionados de forma aleatoria. Según se muestra en la Tabla 7 y 8 las variables %Alcohol y %AlcoholAE, las variables son significativamente diferentes desde el punto de vista estadístico según la prueba t – student desarrollada, resultando la riqueza alcohólica superior al emplear el antiespumante. Estos resultados no concuerdan con lo obtenido a escala de laboratorio respecto al efecto sobre la tolerancia alcohólica de las levaduras. Esta contradicción puede ser aparente ya que el antiespumante pudo haberse empleado a dosificaciones superiores a la recomendada por los fabricantes, saliendo del rango al que fue evaluado en laboratorio. Los resultados a este nivel son alentadores, considerando oportuno continuar los estudios al efecto. Lo más importante hasta entonces es poder afirmar que el nuevo producto no ejerce efecto negativo alguno sobre la tolerancia al etanol.

Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Standard
% Alcohólico	264	5.78485	3.800	7.940	0.73893
%Alcohólico	148	6.00811	4.600	7.300	0.63205

Tabla 7.

Group 1 vs Group 2	t-value	Df	P	F-ratio varians	P varians
% Alcohólico vs %Alcohólico AE	-2.44236	409	0.015014	1.328411	0.056900

Tabla 8.

Conclusiones:

- La espuma en destilerías constituye un objeto de inmediata atención por los inconvenientes que produce desde el punto de vista técnico - económico y medioambiental.
- El nuevo producto objeto de evaluación posee carácter antiespumante siendo utilizado en la industria con resultados satisfactorios. No ejerce efectos negativos en el proceso ni en el producto terminado.
- *Al parecer las composiciones desarrolladas poseen efecto modulador de la tolerancia alcohólica de las levaduras.*

Bibliografía:

Hernández, B.R.; Medina, L.E., "Espumas en Destilerías. Experiencias en su Eliminación".

Seminario Nacional de Destilerías del MINAZ. Enero, 1997.

Catálogo Chemische Fabrik Stockhausen.

Hoffman, A.; US Patent 4, 610, 701., 1986.

Hoffman, A.; US Patent 4, 553, 990., 1985.

McGee, J. "Selecting Chemical Defoamers and Antifoams". Chemical Engineering. April, 1989. P131-136.

Medina, L.E., "Tensoactivo Nacional para la Eliminación de espuma en Destilerías".

Trabajo de Diploma. UMCC, 1996.

Hernández, R.H., "Antiespumantes singulares para la industria biotecnológica de los Derivados de la Caña de Azúcar". Artículo no publicado.

Kirk-Othmer. *Enciclopedia de Tecnología Química*, t.7, p63.
 Dietsche, H., *US Patent 4753885*, 1988.
 Flannigan, W.T., *US Patent 4451390*, 1984.
 Svarz, J.J., *US Patent 4950420*, 1990.
 Abel, H.G., *US Patent 4880564*, 1989.
 Dimas, P.A., *US Patent 5346511*, 1994.

Indice de Materia

aceite de fusel.....	21	<i>dispositivo dosificador estático</i>	31, 32, 34
aceite de soja	18, 19	dualidad	30
ácidos grasos	17, 18, 19, 34	económico	8, 13, 14
agua	3, 6, 15, 16, 18, 19, 21, 32	efecto	2, 5, 8, 9, 13, 14, 17, 22, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35
alcohol	8, 9, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 32, 33, 34	efecto de Marangoni	5
alcoholes	5, 19, 21	elasticidad de la película.....	<i>Véase</i>
alquilsiloxano	18	eliminación	16, 29
amidas	17	emulsificante.....	18
amílico.....	21, 32	emulsiones.....	3
aniónico.....	18	energía	4, 16, 25
antiespumante.....	10, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 30, 31, 32, 33, 34, 35	Enrique Varona.....	2, 9, 10, 11
antiespumantes	2, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 30, 32, 33	entropía	6
aspersión.....	15	equilibrio	4, 9, 20, 22
Aubert.....	4, 5	esféricas.....	6
Bartsch	<i>Véase</i>	espuma	<i>Véase</i>
batición	3, 14, 23	espumas.....	<i>Véase</i>
biomasa	9, 10	espumoso.....	3, 4, 30
browniano	5	Estabilidad	<i>Véase</i> , <i>Véase</i>
burbujas.....	3, 4, 5, 6, 9, 10, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28	estabilizan	6
capacidad	8	éteres	17, 18
ceras	18, 19, 33	Faires	16
colapso	16	fase dispersa.....	3
coloidal.....	3	fermentación	8, 9, 10, 11, 13, 16, 22, 23, 31, 32, 33, 35
Columna de Destilación	2, 14	fermentativos	3, 30
Contaminación bacteriana	32	foamlike dispersion.....	3
Conteo celular	31	foamulsion.....	<i>Véase</i>
control	2, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 18, 20, 21, 22, 28, 31	Formación	2, 3
Control de la espuma	2, 15	gas.....	3, 4, 5, 9, 10, 15, 16, 22, 24, 25, 26, 28, 29
Corporación CubaRon.....	2, 9, 10, 13	gemación	31
derrame	8, 11, 13, 14, 29	Gibbs	4, 5, <i>Véase</i>
desintegración.....	5, 6, 22	glicoles polimerizados	17
despumantes	11, 15	Hernández.....	1, 17
destilación	8, 19, 32	hidrófobas	18, 19
destilerías	2, 8, 9, 10, 11, 14, 29, 30, 33	húmedas.....	6
destruir la espuma	15	inestables	4, 5
diestearoiletilenodiamida	17	Ingledeew	32
Dietsche.....	17	instrumentación	8
diisobutilcarbinol	17	iónico.....	18, 19
Dimas.....	18	Jacquemin	9, 32
dimetilsiloxano.....	18	Jesús Rabi	2, 9, 10, 11, 34
dispersante.....	3	Kirk – Othmer.....	4, 5
		Knock – Down	31, 33
		Kraymik.....	4

lactatos de alquilo	18	<i>Recirculación en Contracorriente</i>	23
levaduras	8, 9, 30, 31, 32, 34	región hipotética	23, 25, 27
líquido	3, 4, 5, 6, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 28, 34	registro 39/97	30
líquido – gas	3, 4, 16	Repulsión eléctrica doblecapa	6
McBain	18	Repulsión entrópica	6
McGee	6, 16, 18, 20	residuales	8, 14
mecánico	3, 8	Ross	17, 18
Medina	17	Sebba	3
medioambiental	8	secas	6
Melle – Boinot	8, 9	Shigeta Hara	<i>Véase</i>
metaestables	4	silbido sónico	15
Métodos mecánicos	15	siliconas	18
Métodos químicos	15	siloxanos	18
mieles	8, 10, 11	sistemas 2, 4, 6, 8, 10, 11, 14, 16, 18, 22, 27, 29, 30, 31, 33, 34	6
moléculas	4, 5, 6, 9, 28	sistemas iónicos	6
monoéster	18, 19	sistemas no iónicos	6
Morfología	2, 6	Solubilidad	32
oclusión	3, 11, 29	succión superficial	2, 28
Ogino	5	superficie	3, 4, 5, 6, 9, 10, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
oxialquilación	2, 17, 19	superficie viscosa	6
película	<i>Véase</i>	superficies	4
película líquida	3, 16	temperatura	3, 6, 32
películas	4, 5, 6, 15	tensión	4, 5, 9, 17
pérdidas	8, 11, 13, 14	tensión superficial	4, 5, 9, 17
Plateau	<i>Véase</i>	tensoactivas	4, 5, 28
polares	6	Tensoactivos	19
poliamidas	17	termodinámicamente	4
poliédricas	7	tolerancia alcohólica	30, 31, 32, 34
polyaphrons	3	transformaciones	3
prefermentación	8	trifluoropropil siloxano	18
Protoplasma celular	31	US Pat.	16
pulverización	15	US Patent	17, 18
químicas	3, 15, 21	viabilidad	31, 33
Quincke	17	viscosidad	3, 5, 6, 19
Rand	4	volumen viscoso	6
recirculación	2, 8, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29	Wellington	3
<i>Recirculación con CO₂ incrementado</i>	23		