

ICINAZ

ANALES

3

NOVIEMBRE 1986

METODOS INDUSTRIALES EMPLEADOS EN FABRICAS DE AZUCAR
PARA EL ANALISIS DE PEQUENAS CONCENTRACIONES DE
SACAROSA EN LOS CONDENSADOS DESTINADOS A LA
ALIMENTACION DE CALDERAS DE VAPOR

Konstantin Skorik, Francisco Perez Sanfiel, Elier Angulo Acosta

RESUMEN:

La determinacion de pequenas concentraciones de azúcar en condensados, reviste gran importancia producto de la tendencia existente a aumentar el regimen de operation en las calderas de vapor.

En este trabajo se relacionan metodos de determinacion de azúcar y presentan equipos industriales que operan mediante la deteccion directa e indirecta del contenido de sacarosa, en el primer caso se citan los metodos colorimetricos y por descomposicion termica o fermentativa de sacarosa, mientras que en la segunda variante se relacionan los metodos de fotometria de llama, electrodos selectivos a iones, electroconductividad total, empleo de trazadores, etc.

Se ha comprobado que tanto los metodos directos como los indirectos presentan dificultades practicas al automatizarlos, debido fundamentalmente a las pequeñas cantidades de sacarosa que debe ser detectadas, al numero de interferencias que manifiestan las reacciones de determinacion y a la variacion de las propiedades fisico-quimicas de los condensados que se analizan.

O - INTRODUCCION

La alimentación de las calderas de vapor en la industria azucarera, en principio se realiza con los condensados del vapor de escapé y del vapor secundario del primer cuerpo del evaporador con una adición mínima de agua químicamente purificada (agua tratada). El régimen de condensación para la alimentación de las calderas de vapor es economicamente mas ventajoso ya que permite disminuir el gasto de combustible (debido al aprovechamiento del calor residual) y la corrosión del conducto de alimentación. Además, el condensado en comparación con el agua químicamente purificada posee menores cantidades de sales, al mismo tiempo, al concentrar el jugo, se contaminan en cierta cantidad de azúcar. Esto se debe a dos causas principales: al arrastre de las gotas del jugo evaporado con el vapor y a irregularidades (micro-orificios, pequeñas grietas, etc) en las superficies de calentamiento. La contaminación tambien puede producirse por deficiencia en el diseño de los evaporadores, alteraciones de las condiciones normales da trabajo o a causa de la ineffectividad de los separadores de vapor instalados.

Como la presión en la cámara de vasar del cuerpo, es superior a la existente en el espacio por donde circula el jugo, cuando se presentan irregularidades en las superficies de calentamiento, el vapor puede provocar la expulsión del jugo, entrando éste con una gran velocidad en los condensados. En la práctica se trata de evitar la contaminación de

los condensados ya que cuando hay que desecharlos y alimentar las calderas con el agua tratada se producen las incrustaciones producto de las sales residuales que permanecen en el agua tratada, así como los efectos negativos del oxígeno disuelto. En las condiciones normales de trabajo dentro de las fábricas de azúcar existe la tendencia de utilizar la mayor cantidad posible de condensados del vapor de ésespe y del vapor producido al concentrar el jugo del primer cuerpo del evaporador, ya que la contaminación del vapor de los primeros cuerpos, corrientemente es menor que en los últimos y además los condensados extraídos de los primeros cuerpos poseen una temperatura más alta y contienen menos gases disueltos.

Cuando se introducen condensados contaminados en las calderas de vapor se producen diferentes procesos. La sacarosa se carameliza, produciendo espuma que pasa a los sobrecalentadores de vapor y a las turbinas. Con la entrada de grandes cantidades de sacarosa comienza la disolución rápida y violenta de las incrustaciones existentes, las cuales en parte se depositan en las zonas inferiores de las calderas dificultando la circulación. Paralelo al proceso de caramelización, tiene lugar (por la acción de altas temperaturas) la descomposición de la sacarosa formándose ácidos orgánicos que disminuyen el pH del agua en las calderas lo que provoca la corrosión de éstas y la formación de incrustaciones.

Las sales contenidas en el agua de alimentación de las calderas al interactuar con los condensados contaminados disminuyen el contenido de fosfato. Si esto transcurre con

los condensados contaminados disminuyen el contenido de fosfato. Si esto transcurre con oastanre frecuencia, pueden surgir dificultades serias en el trabajo a causa de la formación de incrustaciones.

Según algunos autores (1), la presencia de sacarosa en los condensados en cantidades superiores a 40 mg/l puede dañar las calderas de vapor. Por consiguiente para garantizar un regimen de alimentación de condensados a las calderas de vapor, es necesario un dispositivo para la determinación rápida y continua de trazas de sacarosa en los condensados. El control operativo de la calidad de los condensados permite oportunamente excluir la entrada de condensados contaminados en las calderas de vapor y también establecer y eliminar las causas que provocan su contaminación.

En la actualidad, el control sistemático de la contaminación de los condensados producida al concentrar el jugo es un problema que cobra mayor importancia debido a la introducción en la industria azucarera de nuevas calderas de vapor altamente productivas. Las mismas trabajan a altas temperaturas y presiones, lo cual acelera significativamente los procesos de descomposición (termodegradación) de la sacarosa en caso de que la misma este presente en el agua de alimentación. En relación con este hecho, las normas de calidad del agua de alimentación para estos equipos son mucho más rigurosas, lo cual plantea la necesidad de un control químico más cuidadoso y que debe realizarse en forma continua.

En la presente revisión, se analizan diferentes procedimientos (métodos) de determinación de trazas de sacarosa en los condensados y también los dispositivos que para lograr este objetivo trabajan en forma periódica o continua.

I. CLASIFICACION DE LOS METODOS PARA LA DETERMINACION DE SACAROSA.

Todos los métodos de determinación de pequeñas cantidades de sacarosa en los condensados se pueden dividir en dos grandes grupos:

- (1) Determinación directa de la sacarosa mediante su interacción (o la de sus derivados) con reactivos apropiados.
- (2) Determinación indirecta de la sacarosa a través de sustancias acompañantes o por los parámetros físico-químicos de la solución.

En el primer grupo se incluyen los métodos colorimétricos, de termodescomposición de la sacarosa y mediante enzimas.

El segundo grupo incluye: la determinación de azúcar a través de la medición de la concentración de iones metálicos por fotometría de llama o con electrodos selectivos, la medición de la conductividad eléctrica total de los condensados, la utilización de un indicador inductivo de concentración y la introducción de un trazador en el jugo (por ejemplo, el cloruro de litio). Cada uno de los

los métodos enumerados se describen a continuación.

En lo concerniente a los métodos indirectos hay que señalar la necesidad de utilizar en la primera etapa (al determinar la correlación azúcar-sustancia o azúcar-parámetro) bien soluciones modelo o de sacarosa con concentración inicial conocida o uno de los métodos directos, por lo regular colorimétrico, así la exactitud del método indirecto depende también de la determinación de la sacarosa durante la búsqueda de la correlación.

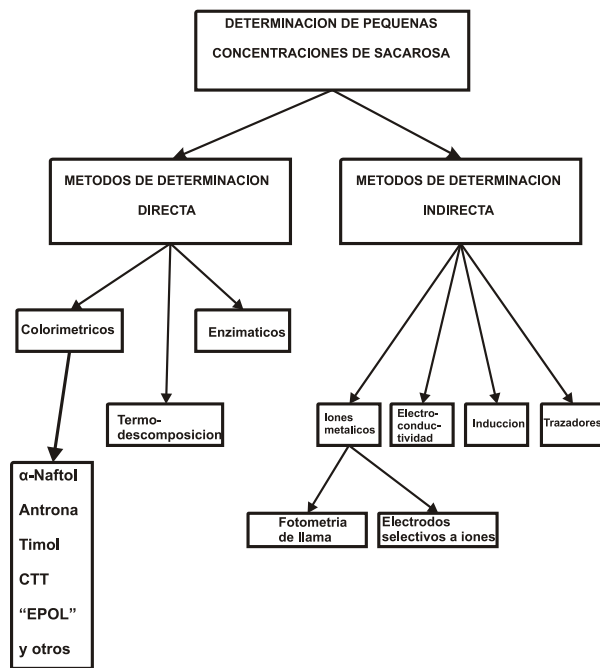


Fig. 1. Clacificacion de los metodos de determinacion de pequenas concentraciones de sacarosa en los condensados

Además los metodos de determinación de trazas de azúcar se pueden clasificar en continuos, cuando son realizados en instalaciones automáticas y periódicos, cuando el análisis se lleva a cabo manualmente.

2. METODOS DE DETERMINACION DIRECTA DE AZUCAR MEDIANTE LOS PRODUCTOS DE SU DESCOMPOSICION.

Los metodos de daterminación directa de pequeñas cantidades de sacarosa en soluciones acuosas han encontrado aplicacion en la

industria y en los laboratorios gracias a la sencillez, alta sensibilidad y exactitud. Esto es válido especialmente para el método colorimétrico, basado en la propiedad de las soluciones de presentar máximos de absorción a longitudes de ondas bien definidas, así la determinación cuantitativa de sacarosa puede realizarse en el intervalo de concentración para el cual es válida la Ley de Bouger-Lambert-Beer.

En la bibliografía se describen diversos equipos de funcionamiento continuo, cuyo principio de trabajo está basado en el análisis colorimétrico de las muestras del condensado, después del tratamiento con diferentes reactivos que producen cambios de coloración de la solución en presencia de sacarosa. Es necesario señalar, que hasta el momento actual, la detección de azúcar con α -naftol se utiliza ampliamente en la industria azucarera, aunque la misma es en esencia, una reacción cualitativa que sólo permite de modo visual determinar aproximadamente el contenido de azúcar.

La descomposición térmica de la sacarosa es otro de los métodos de determinación directa. Este método no hace mucho que aparece descrito en la literatura y aún no ha tenido un desarrollo suficiente desde el punto de vista de la búsqueda de las condiciones óptimas de realización del proceso, ni en lo relacionado con el diseño del equipo apropiado para este fin.

Merece mención el método enzimático, hasta el momento el mismo se utiliza en las fábricas para la determinación cualitativa y semicuantitativa de trazas de sacarosa con la ayuda de papeles indicadores especiales, en los cuales la variación de color depende del contenido de azúcar en la solución. También las enzimas han encontrado aplicación en las condiciones de laboratorio para análisis cuantitativos.

2.1 METODO COLORIMETRICO

La determinación de pequeñas cantidades de sacarosa por métodos colorimétricos se basa en la medición de la densidad óptica de la solución que contiene sacarosa, tratada con diferentes reactivos que provocan la coloración o el cambio de coloración. En la literatura se reporta el uso de diferentes sustancias para determinaciones: α -naftol (2,3,4), antrona (1,5,6), timol (7), cloruro de trifeniltetrazolium (CTT) (8,9), yodo, alcanfor y otros.

En la mayoría de los casos se realiza la inversión de la sacarosa con solución ácida diluida, o bien la descomposición completa de la sacarosa en compuestos furfurílicos con ácido sulfúrico concentrado. Con estos reactivos tiene lugar las reacciones colorimétricas cuyo máximo de absorción depende del reactivo utilizado (α -naftol, antrona y otros).

El método colorimétrico posee una serie de ventajas que explican su amplia aplicación para la determinación de trazas de sacarosa: sencillez

(en los análisis cualitativos y semicuantitativos) sensibilidad, exactitud y reproducibilidad lo suficiente altas. Al mismo tiempo el método presenta determinadas deficiencias: poca selectividad, pues otros carbohidratos y muchas sustancias interfieren en la determinación, la coloración de las paredes de las cubetas de medición en flujo, la variación de intensidad de la coloración de los productos de la reacción en dependencia no sólo de la concentración de los carbohidratos, sino también de la forma de preparación de la mezcla, la concentración del reactivo y del ácido, del tiempo y temperatura de tratamiento de las muestras, de la relación entre los reaccionantes, de la manera de suministrar la mezcla a la cubeta de medición, etc. Para la determinación cuantitativa de sacarosa también es necesario, que la muestra preparada para la medición colorimétrica no contenga partículas en suspensión. Esto a su vez, obliga a utilizar diferentes dispositivos filtrantes que hacen compleja la construcción de analizadores automáticos destinados a la determinación de trazas de azúcar.

Para la determinación colorimétrica de sacarosa se utiliza con mucha frecuencia el α -naftol disuelto en ácido sulfúrico concentrado. La reacción cumple con la Ley de Bouger-Lambert-Beer para concentraciones de azúcar superiores a 10 mg/l. El α -naftol reacciona con los compuestos furfurílicos que se forman a partir de la sacarosa por acción del ácido sulfúrico concentrado. La solución se colorea rojo-violeta y presenta un máximo de absorción entre 550-570 nm (2,4). Ha sido elaborado un dispositivo de acción continua, cuyo principio de trabajo está basado en la determinación de azúcar en los condensados por la reacción con α -naftol (3). En la literatura también se reporta la determinación cuantitativa de trazas de sacarosa con un espectrofotómetro (4). No obstante esto, hasta el momento en casi todas las fábricas de azúcar se controla la contaminación de los condensados con sacarosa de forma manual mediante la toma periódica de muestras y la aplicación del método del α -naftol.

El carácter periódico y un tanto subjetivo del control de trazas de azúcar

no permiten excluir completamente la entrada de ésta en las calderas de vapor. Dado que el método para detectar sacarosa con α -naftol es ampliamente conocido no creemos necesario describirlo en este trabajo.

Para la determinación de carbohidratos en general y de sacarosa en particular, el ICUMSA ha recomendado, la antrona que permite obtener buena reproducibilidad y una sensibilidad lo suficientemente alta. La antrona reacciona con los productos de la descomposición de la sacarosa en ácido sulfúrico concentrado (fúrfurales) produciendo una coloración verde-asulosa. La intensidad de la coloración depende de diferentes factores como son: la concentración de azúcar, la forma de preparación y la concentración de ácido en la mezcla reaccionante, el tiempo y la temperatura de tratamiento, la relación muestras reactivo y otros.

La antrona se utiliza como método de laboratorio para la determinación de concentraciones pequeñas de sacarosa (5,6).

Investigaciones (1) realizadas con soluciones patrones de sacarosa con una concentración entre 5-250 mg/l han permitido detectar la presencia de dos máximos de absorción: el primero entre 610-650 nm cuando el contenido de azúcar es de 5 a 100 mg/l, el segundo entre 510-530 nm para una concentración superior a 100 mg/l. Debido a que es necesario determinar trazas de azúcar en los condensados, la medición de la densidad óptica se realiza a 620-630 nm, longitud de onda a la que se logra la mayor exactitud del análisis. Ha sido diseñada (1) una instalación para el control automático de los condensados. El esquema principal de la instalación se muestra en la Fig. 2. La instalación esta constituida por los siguientes bloques funcionales: toma muestra 1; condensador para la muestra 2, recipiente para el reactivo 6 (solución de antrona en ácido sulfúrico concentrado); dosificadores combinados del reactivo 5 y del condensado 3, reactor 8, condensador para los productos de la reacción 10, el fotocolorímetro 12 con cubetas de medición en flujo 4 y 11; programador 15 y bloque de alimentación 16 y 17.

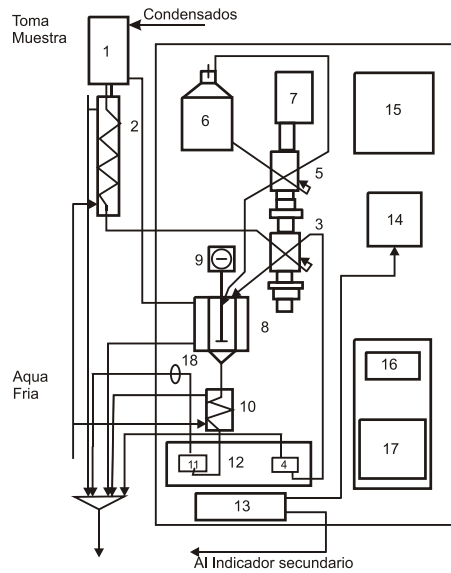


Fig. 2. Instalacion automatica para la determinacion de trazas de sacarosa en los condensados por reaccion con antrona

La instalaci3n trabaja de la forma siguientes: el condensado se recepciona por el toma muestra 1 y se pasa al condensador 2, despu3s es transferido al dosificador de muestra 3 y luego a la cubeta de medici3n y comparaci3n 4.

Al segundo dosificador 5 se subministra el reactivo 6 (soluci3n 0,2% de antrona en 3cido sulf3rico concentrado con un peso espec3fico de 1.83). El reactivo y el condensado se dosifican en la relaci3n 2,0 : 1,0 por medio del dosificador de rotor 7 y simult3neamente se vierten en el reactor 8 donde transcurre la reacci3n de la antrona con los carbohidratos contenidos en la muestra. Para el mejoramiento de la reproducibilidad la reacci3n se lleva a cabo a 100°C y con agitaci3n constante. Esta temperatura se mantiene gracias al calor del condensado a analizar, que pasa a trav3s de la camiseta de agua

del reactor. Este último está equipado con un saltador eléctrico de hélice 9. La estabilidad de la temperatura y la agitación constante e intensa de la mezcla reaccionante, han permitido alcanzar condiciones óptimas para la realización de la reacción colorimétrica. Debido a esto se han obtenido valores máximos de densidad óptica para soluciones patrones con una buena reproducibilidad. El tiempo de reacción fue de 45-60 seg. Después de completarse la reacción, la mezcla pasa al condensador 10 y luego a la cubeta de medición en flujo 11 del fotocolorímetro 12 para medir la densidad óptica. La señal producto de la diferencia entre la densidad óptica de la muestra y el blanco es amplificada por el bloque electrónico y se transforma en una señal eléctrica estándar, la cual se detecta mediante el milivoltímetro 14. La prueba de la instalación automática primero se realizó en las condiciones de laboratorio con soluciones patrones de sacarosa.

63.

Se compararon los valores de las densidades ópticas medidas por el milivoltímetro del dispositivo y tofotómetros SF-4 y SF-10. Los resultados mostraron que en las primeras mediciones al originarse una variación en la concentración de las soluciones patrones se produjeron errores desde 2,8 hasta 13,8%, sin embargo en mediciones subsiguientes los errores relativos disminuyeron y se estabilizaron a un nivel que no superó el 2%, excepto cuando la concentración fue de 0,001% (10 mg/l), para la cual el error fue mayor. Los errores relativamente grandes que se producen al variar la concentración sacarosa, se explican por el hecho de que en la instalación no se contempló el lavado de todo el sistema después de cada medición. La mezcla reaccionante de la muestra subsiguiente al desplazar a la precedente de la cubeta la lava, y parte de esta se mezcla con ella alterándose la verdadera concentración. No obstante las pruebas industriales de la instalación realizadas en las condiciones de fábrica, han dado resultados satisfactorios.

Además de las deficiencias generales, provocadas por la naturaleza del método colorimétrico, esta instalación posee una complejidad bastante grande. En su composición entran 17 unidades, incluyendo el equipo de mando, el bloque de alimentación, el estabilizador, el amplificador electrónico, dos motores eléctricos para accionar el dosificador y el agitador, la válvula solenoide 18, etc. Esto

conlleva al aumento del costo y empeore la seguridad de funcionamiento de todo el complejo durante su utilización en las condiciones de las fábricas, además para la fabricación de los bloques, que están en contacto con el ácido sulfúrico concentrado, el dosificador, el reactor, lá cubeta a corriente y otros, es necesario un material con alta resistencia al sulfúrico, al calor y que sea fácil de maquinar.

Otra sustancia que se utiliza para la realización de reacciones colorimétricas con los azúcares reductores o con la sacarosa es el cloruro de trifenil tetrazolium (CTT) (8,9). En medio alcalino con calentamiento, el CTT, forma con los azúcares reductores un compuesto de color rojo como resultado de la reacción(9).

Este método presenta la ventaja de que la mayoría de otras sustancias reductoras (aldehidos, ácido cítrico, sulfuros y otras) no interfieren fuertemente en la determinación. Para la determinación de la sacarosa con este reactivo

primeramente se lleva a cabo la hidrólisis de la sacarosa con ácido clorhídrico y luego en el reactor se mezclan los productos de la hidrólisis con NaOH y CTT. La solución coloreada se transfiere a la cubeta para la medición en flujo. El esquema principal del proceso se muestra en la fig. 3.

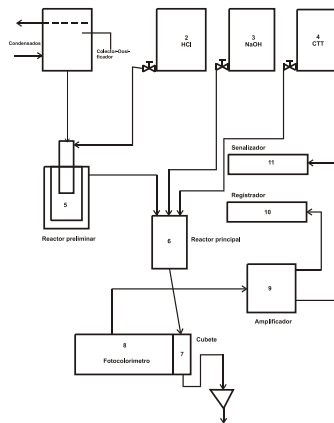


Fig. 3. Instalación para la determinación continua de trazos de sacarosa por reacción con el cloruro de trifenil tetrazolium (CTT)

Se ha diseñado un detector automático de sacarosa en los condensados utilizando el CTT (8). La sensibilidad límite del mismo es 5 mg/l y (la nominal cerca de 10 mg/l) la duración completa de todo el ciclo de análisis de la muestra del condensado es de 15 min. El equipo posee una alarma lumínica y un miliamperímetro, cuya escala está graduada en relación con los mg/l de sacarosa. La determinación colorimétrica de sacarosa con la utilización de CTT posee la ventaja de que la reacción es menos sensible a la presencia de otras sustancias reductoras. Sin embargo es necesario aún otro reactivo (el hidróxido de sodio), lo que hace compleja la dosificación continua de HCL, NaOH y CTT en cantidades exactas. Entre las desventajas de este equipo también se puede incluir el tiempo necesario para el análisis que es relativamente grande (15 min) lo que no permite excluir por completo la posibilidad del envío de condensados contaminados a las calderas. También se requiere garantizar condiciones constantes para llevar a cabo la reacción de hidrólisis, así como la interacción de sus productos con el CTT.

En las instalaciones automáticas para la determinación de trazas de sacarosa, que funcionen en la mayoría de las fábricas de azúcar refinado de la compañía "AMSTAR", como reactivo utilizan el timol (7).

La muestra se mezcla continuamente con la solución de timol en ácido sulfúrico. La presencia de sacarosa o de otro carbohidrato en la muestra provoca la coloración roja de la

mezcla. La intensidad de la coloración depende de la concentración de sacarosa y se mide con un fotocolorímetro. Cuando se alcanza el límite del contenido de azúcar establecido suena una alarma. El período necesario para el análisis es de 5 min.

La turbidez de las soluciones analizadas por métodos colorimétricos dificulta o llega a hacer imposible el trabajo eficiente de los dispositivos colorimétricos. Por ello para el análisis de las soluciones que contienen partículas en suspensión, se hace necesario filtrar la muestra antes de que reaccione y pase a la cubeta de medición. En el analizador automático "Tekhnikon" (7) por ejemplo, se utiliza como filtro una membrana para diálisis. Está previsto el lavado automático del filtro por el flujo inverso del líquido.

El analizador trabaja de la forma siguiente: La muestra se acidifica y se suministra al reactor para llevar a cabo la inversión de la sacarosa a la temperatura de 90° C y luego pasa al filtro. La solución de sacarosa invertida después de la diálisis se mezcla con solución 0,25 N de bicarbonato de sodio y con el reactivo "cuprico-neocuproina" y se calienta. El reactivo es reducido **y** produce una intensa coloración. La medición se realiza a 460 nm. El tiempo de análisis es de 15 min.

En la República Popular de Polonia ha sido obtenido un nuevo compuesto para la determinación de azúcar en el agua de alimentación de las calderas de vapor, el "EPOL" (I0). El "EPOL" es un polvo fino que tiene como base la resina epoxidica "Epidian-5" reticulada con trietilendiamina.

Al mezclarse en un tubo de ensayo 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, que contiene 0,5-0,5 mg/ml de "EPOL" con 1 ml del agua de condensados contaminada, la presencia de azúcar se detecta aproximadamente al cabo de los 30 seg por la variación del color de rosado a rojo o a rojo-violeta. La intensidad de la coloración depende de la concentración de sacarosa. En las experiencias con soluciones patrones y condensados a los que se le añadieron cantidades conocidas de sacarosa, se estableció que el "EPOL" permite obtener una sensibilidad más alta que el α -naftol. La coloración rosada claramente diferenciada aparece cuando la concentración de sacarosa es de 5 mg/l. La comparación del "EPOL" con dos reactivos ampliamente utilizados para la determinación de sacarosa mostró lo siguiente: la presencia de amoníaco en el condensado no ejerce influencia sobre las propiedades indicadoras del "EPOL" y también es menos sensible que el α -naftol a la acción del ácido nítrico, aunque a diferencia de la antrona, el "EPOL" posee una alta sensibilidad hacia el formaldehído.

El espectograma correspondiente a la reacción con "EPOL" muestra que el máximo de absorción se presenta a 560 nm. La aplicación del "EPOL" está protegida por patente.

2.2 DESCOMPOSICION TERMICA.

La descomposición térmica de la sacarosa en el proceso fabril incrementa las pérdidas de esta sustancia y es por lo tanto un proceso indeseable. Sin embargo para la determinación de trazas de sacarosa este fenómeno ha encontrado aplicación (11,12).

Al someter disoluciones de sacarosa a altas temperaturas y presiones su conductividad eléctrica aumenta sensiblemente, basandose en este fenómeno se ha diseñado un equipo de funcionamiento continuo para la determinación de azúcar (11). La instalación está constituida por las siguientes partes: bomba para suministro de la muestra a presión 2, calentador 4, condensador 5 y bloque de medición de la conductividad eléctrica 6. El esquema en forma de bloque, de la instalación se muestra en la fig. 4, la cual funciona de la forma siguiente: el condensado se toma continuamente desde el recolector 1 y entra en la bomba 2, la cual crea a la salida una presión de hasta 20 Kg/cm^2 (2,0 MPa) y luego al calentador 4, donde el fluido se calienta hasta 265°C . Después del tratamiento térmico el condensado se enfría en el condensador de agua 5 hasta la temperatura de medición de la electroconductividad (25°C).

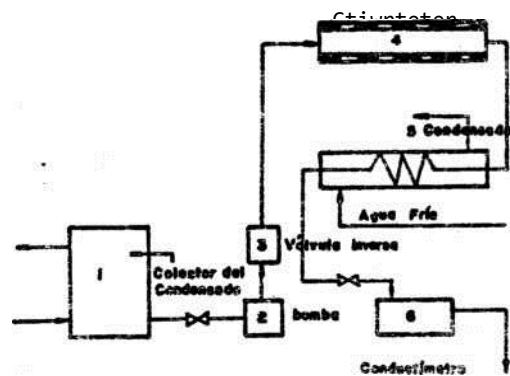


Fig.4. Instalacion para la determinacion continua de trazas de sacarosa por el metodo de descomposicion termica

En la curva de calibración se observa la dependencia entre la electroconductividad específica y la concentración de sacarosa en los condensados después del tratamiento térmico. Fueron realizados experimentos a nivel de laboratorio en los cuales se utilizaron condensados a los que se le adicionó sacarosa desde 0 hasta 50 mg/l a intervalos de 10 mg/l (Fig. 5). Las condiciones del tratamiento térmico de las muestras fueron idénticas (presión de 20 Kg/cm² (2,0 MPa), temperatura 265°C); pero se variaron los tiempos de estancia de la muestra en el reactor: 2,5 min y 5 min. Se estableció que para un tiempo de tratamiento de 5 min, el valor de la electroconductividad específica era aproximadamente dos veces superior, que a 2,5 min, lo cual prueba que tiene lugar una mayor descomposicion de la sacarosa.

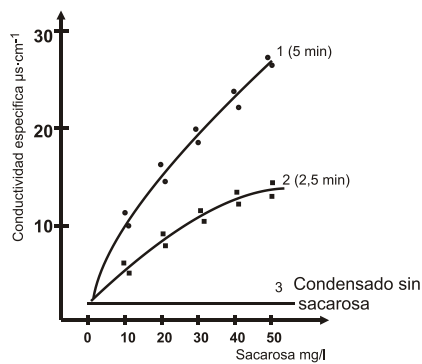


Fig.5. Dependencia de la conductividad específica con respecto a la concentración de sacarosa de las muestras después de diferentes tiempos de calentamiento a 265° C y presión de 2,0 MPa

Además se realizaron experiencias en el rango de concentraciones desde 0 hasta 10 mg/l, con los mismos parámetros de tratamiento térmico. La electroconductividad específica en dicho intervalo de concentración de azúcar variaba linealmente. En las condiciones de laboratorio,

el dispositivo permitió determinar una variación de concentración de sacarosa de hasta 1 mg/l.

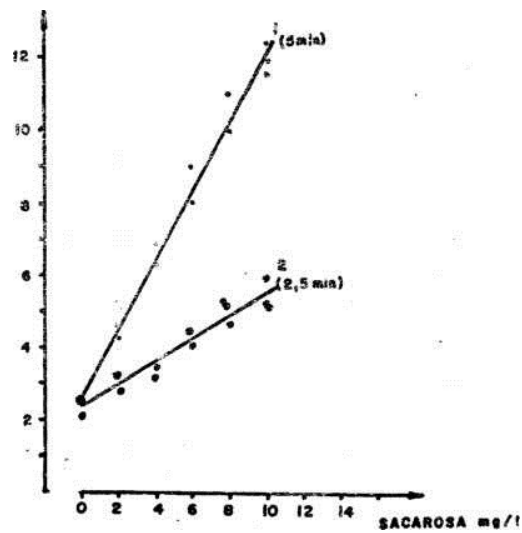


Fig.6. Dependencia de la conductividad específica con respecto a un rango mas pequeño de concentración de sacarosa en las mismas condiciones anteriores de operacion

La instalación con modificaciones en el calentador y el condensador se utiliza en equipamientos industriales para el control de la calidad del condensado.

En el artículo (12) se muestran los resultados de un estudio más profundo del proceso de la descomposición térmica de cantidades pequeñas de azúcar en soluciones acuosas en experimentos a nivel de laboratorio. El objetivo de estas investigaciones es conocer el grado de descomposición de la sacarosa en dependencia de la temperatura, el tiempo de calentamiento y la concentración de sacarosa y también obtener datos preliminares para la elaboración de un equipo automático en flujo para control de azúcar en los condensados. En las muestras que contenían diferente cantidad de sacarosa desde 10^{-3} hasta 10^{-1} % (desde 1000 hasta 10 mg/l) se midió la electroconductividad específica y la concentración de iones hidrógeno antes y después del calentamiento. Los límites de medición de la temperatura en el tratamiento térmico de las muestras en la bomba calorimétrica correspondían a las condiciones de temperatura en las calderas de vapor desde 175 hasta 280°C.

Como resultado de las experiencias realizadas se estableció que a 175°C tiene lugar una significativa descomposición de la sacarosa la que transcurre más rápidamente en el intervalo entre 200–250°C y se hace máxima a 280°C. Un período de termotratamiento mayor de 5 min a 250°C no ejerce una influencia significativa en la variación del pH y de la electroconductividad específica. Los autores aseguran que los parámetros óptimos para el tratamiento de la muestra: temperatura de 250°C y tiempo de 5 min.

En la Fig. 7 se muestran las dependencias de variación del pH (ΔpH) y de la electroconductividad específica ($\Delta\sigma$) respecto a la

concentración de sacarosa en estas condiciones.

o.

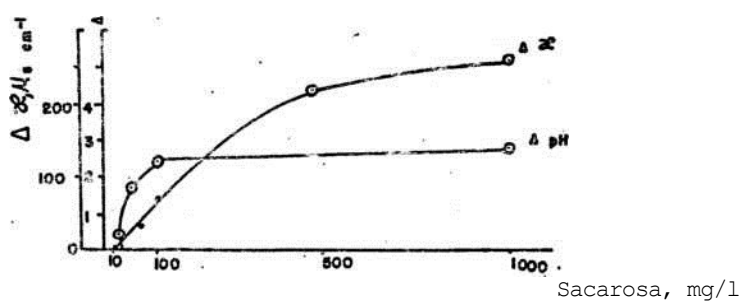


Fig.7. Dependencia de las variaciones de pH y electroconductividad con respecto a la concentración de sacarosa de las soluciones calentadas hasta 230°C

En las fábricas de azúcar de remolacha el valor mínimo permisible de pH del condensado puro para la alimentación de las calderas de vapor es 7.5 unidades (el nominal es 8.5-9.0). Si en los condensados está presente menos de 0,001% 10mg/l) de sacarosa, se puede asegurar un régimen alcalino de trabajo normalizable en las calderas, ya que el pH disminuye en 0,4 unidades después del tratamiento térmico del agua de alimentación.

2.3 DESCOMPOSICION FERMENTATIVA.

El proceso de descomposición de sacarosa con fermentos puede ser utilizado para determinar su contenido en cantidades pequeñas.

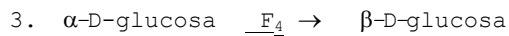
En la literatura (13) se reportan papeles indicadores para la determinación cualitativa y semicuantitativa de trazas de azúcar en productos de la industria azucarera. Los papeles se impregnan con solución de un conjunto de fermentos que provocan una serie de transformaciones de la sacarosa. La secuencia de estas reacciones es la siguiente:

1. Sacarosa + H₂O $\xrightarrow{F_1, F_2}$ α -D glucosa + β -D fructosa.

(F₁ : invertasa - F₂ : α -D glucosidasa)

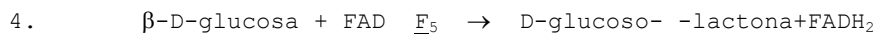
2. β -D-fructosa $\xrightarrow{F_3}$ α -D-glucosa
F₃ : glucoisomerasa

Esta etapa, para la determinación de la sacarosa no es significativa; sin embargo la interacción con el fermento aumenta aproximadamente en 100% la sensibilidad del análisis, ya que a partir de una molécula de sacarosa se forman 2 moléculas de glucosa.



F4 : mutarrotasa

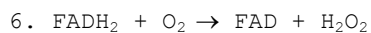
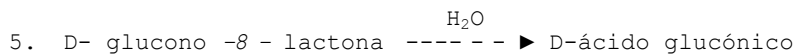
Este paso es necesario para la oxidación posterior de la glucosa, por cuanto la glucosidasa oxida selectivamente sólo la β -D-glucosa.



F₅ : glucosidasa

FAD: Flavinadenin-dinukleotid

El fermento glucosidasa, además transporta el hidrógeno formado en la oxidación de la glucosa al FAD.



utilizando bandas patrones de colores. Además de una banda de papel se pueden crear zonas con sensibilidades diferentes que reaccionen a distintas concentraciones de azúcar (variando la cantidad de uno o de varios fermentos en la solución de impregnación). Esto permite utilizar los papeles sin la necesidad de comparar el color con patrones.

El método descrito es útil y lo suficiente cómodo para el control manual periódico de los condensados después de su enfriamiento hasta temperatura inferior a 80°C, sin embargo, posee una serie de deficiencias: Se dificulta su realización en un régimen automático continuo, los fermentos pueden perder parcial o totalmente su actividad bajo la acción de condiciones no favorables (temperatura, pH, sustancias tóxicas, etc). Esto provoca la disminución de la sensibilidad y la confiabilidad del presente método, dadas las transformaciones de la sacarosa hasta los productos finales por la acción del conjunto de fermentos. La descomposición fermentativa ha encontrado también aplicación para la determinación de la pérdida de azúcar en el agua de lavado en las fábricas de azúcar de remolacha (14). El método permite medir de una forma bastante rápida y exacta el contenido de trazas de sacarosa.

3. METODOS DE DETERMINACION INDIRECTA DE AZUCAR.

Trazas de sacarosa pueden determinarse indirectamente por la concentración de diferentes sustancias o iones, que aparecen en el condensado del evaporador proveniente de jugo evaporado conjuntamente con el azúcar, por unas u otras alteraciones de las condiciones normales de trabajo. La base de los métodos indirectos

de control descansa en el hecho, que con el arrastre de las gotas con el vapor, o por la entrada en el condensado de cierta cantidad de solución evaporada, solamente tiene lugar la disolución de la misma. Por ello, la correlación de concentraciones azúcar-sustancia (o parámetro físico-químico) a determinar en el jugo y en el condensado, permanece constante para una concentración igual de azúcar o varía en el caso que esta última varíe. La concentración de sacarosa en el condensado se calcula por el contenido de una determinada sustancia acompañante multiplicando por un coeficiente de transferencia. Para el control indirecto de la presencia de azúcar en el condensado, se utilizan según datos que se poseen de la bibliografía, las sustancias (iones metálicos) y parámetros físicos-químicos siguientes: potasio, sodio, calcio, litio (el litio se introduce especialmente en el jugo como trazador), la electroconductividad total de la solución y el contenido total de iones.

Entre las ventajas de los métodos indirectos de determinación se tienen: relativa sencillez, la posibilidad de automatizar el proceso y la realización del mismo en régimen continuo, rapidez del análisis en la mayoría de los casos.

Al mismo tiempo se requiere un control constante del coeficiente de transferencia y su corrección. Esto está provocado por el hecho de que la concentración del ión o el valor del parámetro, a través del cual se realiza la determinación indirecta de la sacarosa, varía en el condensado no solamente en dependencia de la cantidad de jugo incorporada a este, sino de otros factores, que no dependen directamente de la concentración de sacarosa. Entre

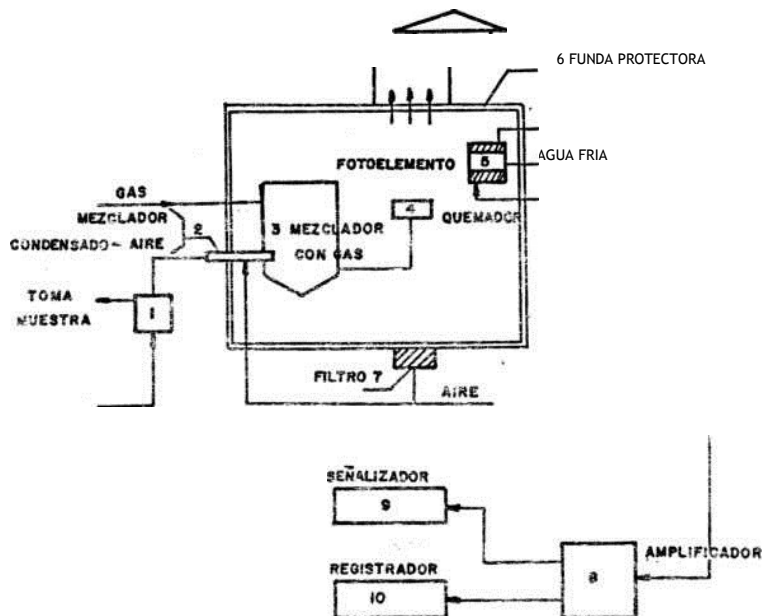
éstos se relacionan en primer orden, las condiciones de cultivo, del suelo, del plazo de recolección de la materia prima, etc. Además, sobre la electroconductividad total de los condensados, ejerce una notable influencia la presencia y la cantidad de amoníaco y dióxido de carbono; la presencia de productos de la corrosión de los metales a partir de los cuales se han fabricado las instalaciones y otros más. En relación con esto, la exactitud de los métodos indirectos de control de la sacarosa en general son inferiores a los métodos directos. Lo mismo se puede decir en cuanto a la seguridad. Se requiere una gran adaptación y la construcción de equipos en las condiciones concretas de una fábrica de azúcar dado, lo que naturalmente dificulta la amplia introducción en la industria de dispositivos que fundamenten su trabajo en uno de los métodos indirectos de determinación de trazas de sacarosa en los condensados.

3.1 FOTOMETRIA DE LLAMA

Los análisis de muestras de la meladura después del evaporador mostraron que existe una dependencia entre la

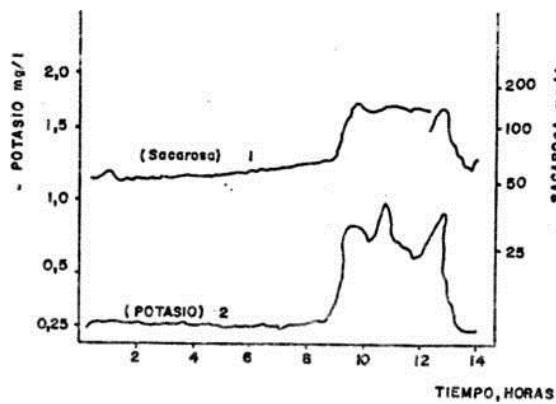
concentración de la sacarosa y el contenido de iones potasio o sodio (2, 15, 16, 17, 18). Esta dependencia ha sido utilizada para el control de la concentración de azúcar en los condensados de manera indirecta por la concentración de potasio determinada por fotometría de llama (2). Primeramente para la comprobación del método y la determinación del coeficiente de transferencia se realizaron mediciones paralelas de la concentración de sacarosa en dos equipos: con el método de α -naftol y por fotometría de llama para la determinación de potasio. El esquema en bloque del fotómetro de llama se muestra en la Fig.8.

Fig.8. Detector por fotometría de llama de las concentraciones de iones en los condensados



La muestra de condensado del segundo cuerpo de evaporación con la ayuda de una bomba se enfría, filtra y luego se envía a ambos equipos que trabajan simultáneamente. Cada equipo se calibra por lo menos una vez al día. Los datos de concentración de azúcar y de potasio obtenidos se plotean. En la fig.9 se muestran las curvas de variación de la concentración de azúcar y potasio en el condensado del vapor de jugo. En el transcurso de 15 horas de trabajo continuo, se observa que el contenido de potasio y sacarosa se corresponden bastante bien. Ciertas diferencias se deben, ante todo, a las perturbaciones (ruidos) del dispositivo para la determinación de azúcar. Así la relación de azúcar - K^+ de 150:1 resultó ser bastante alta en comparación con la habitual 100:1 encontrada por un método mas exacto de medición de la sacarosa (5).

Fig. 9. Contenido de sacarosa (1) y potasio (2) en condensados del segundo cuerpo de un evaporador en una fabrica de azúcar de remolacha durante un tiempo de registro



Los autores del trabajo (2) establecieron que estas diferencias son provocadas por la presencia de otras sustancias en el condensado que forman con el α -naftol productos coloreados, y también por la coloración de las paredes de la cubeta del fotocolorímetro en el proceso de trabajo.

Las particular de humo y polvo presentes en la llama provocaron al principio de los experimentos una gran desviación de los datos. La lectura del fotómetro de llama se logró estabilizar después de ciertas variaciones (modificaciones) en el diseño, y la protección del equipo frente al polvo contenido en el aire atmosférico.

El fotómetro de llama fue conectado a un dispositivo señalizador acústico, que se disparaba cuando se superaba una concentración dada de los iones potasio (y por consiguiente de azúcar) en el condensado. La indicación (lectura) de la concentración se puede variar en un amplio rango seleccionando uno de los cinco niveles de sensibilidad situado en el bloqueo del amplificador.

El presente dispositivo para el control de la calidad de los condensados ha sido introducido en una serie de fábricas de azúcar. Los gastos de explotación en el trabajo con este método son considerablemente más bajos que con el método colorimétrico.

En (16) se describe la utilización del fotómetro de llama para la determinación de iones potasio en los condensados y también en el vapor secundario de los aparatos de vacío o de los cuerpos del evaporador en una serie de fabricas de azucar. El contenido de azúcar se calcula por la relación sacarosa-potasio tomada igual a 100 (aunque en la práctica varió desde 85 hasta 100). La toma de muestras del condensado no presenta dificultades especiales, al mismo tiempo que el análisis del vapor fue un poco complejo a causa de la necesidad de asegurar la representatividad de la muestra. Las investigaciones establecieron la presencia de un perfil de variación de concentración de las impurezas por la sección del conducto de vapor, lo cual provocó la necesidad de tomar muestras en varios puntos.

Además se demostró que el arrastre de las gotas de la solución evaporada y la expulsión del jugo no se produce continuamente y que posee una durabilidad relativamente corta. Por ello en el control manual periódico de trazas de sacarosa no están excluidos los casos de que aparezcan condensados contaminantes en las calderas de vapor.

En (18) se describe un dispositivo para la toma, condensación y análisis del contenido de potasio de las muestras de vapor de diferentes equipos intercambiadores de calor de las fábricas de azúcar. La cantidad de sacarosa en la muestra se determina a través del potasio. El dispositivo ha encontrado aplicación para la detección y localización de las pérdidas de sacarosa en exceso en la fábrica Gledhow.

3.2 ELECTRODOS SELECTIVOS A IONES

Para el control de trazas de azúcar en los condensados se puede utilizar también electrodos selectivos a iones para la determinación potenciométrica de sodio (2), potasio y calcio. La concentración de la sacarosa en este caso se calcula por la cantidad del metal presente sobre la base de la relación metal-azúcar establecida en experimentos preliminares.

Como se estableció en (2), la principal insuficiencia del método de determinación potenciométrica con electrodos selectivos a iones fue la baja seguridad de los propios electrodos. Además se requiere una filtración muy delicada de la muestra antes de las mediciones. Por otro lado la duración de los electrodos no es lo suficientemente larga.

Sin embargo, considerando la sencillez y rapidez del análisis, el método merece mención y es posible que encuentre aplicación a medida que mejore la construcción y la tecnología de fabricación de los electrodos selectivos, aunque en general, en este método de determinación de trazas de sacarosa están presentes las deficiencias comunes a los métodos indirectos de determinación, ya analizadas.

3.3 ELECTROCONDUCTIVIDAD TOTAL

Es conocido que la sacarosa químicamente pura no ejerce influencia sobre la electroconductividad de sus soluciones acuosas, sin embargo el azúcar en el proceso de su producción, es decir en el jugo, en la meladura, en las mieles de las masas cocidas, etc, varía notablemente los parámetros físico-químicos de las soluciones a causa de que conjuntamente con los no azúcares están presentes sales solubles.

La correlación entre el contenido de sacarosa en los condensados y la electroconductividad de la solución depende de la composición cualitativa y

cuantitativa de los iones presentes, las cuales oscilan dentro de amplios límites en las condiciones industriales. En las fábricas de azúcar, cualquier entrada de sacarosa en el condensado está indisolublemente unida con la presencia de electrolitos y la variación de la electroconductividad provocada por ellos puede servir como indicador del grado de contaminación.

En principio los métodos conductimétricos de determinación de la pureza de los condensados se pueden dividir en dos grupos:

- 1) Medición de gran cantidad de impurezas.
- 2) Medición de una pequeña cantidad de impurezas.

En (19) se describe una instalación para el control automático continuo de los condensados que contiene gran cantidad de impurezas.

El esquema-bloque de la instalación se muestra en la fig.10.

La instalación está formada por los bloques de alimentación, la medición de la electroconductancia, la celda conductimétrica y los accesorios para la toma continua de muestras de condensados procedentes de diferentes instalaciones en la fábrica: aparatos de vacío, calentadores, del segundo cuerpo del evaporador, etc. Al mismo tiempo los condensados de diferentes aparatos de vacío se llevan al conductímetro y después de mezclarse en el colector pasan a la celda de medición.

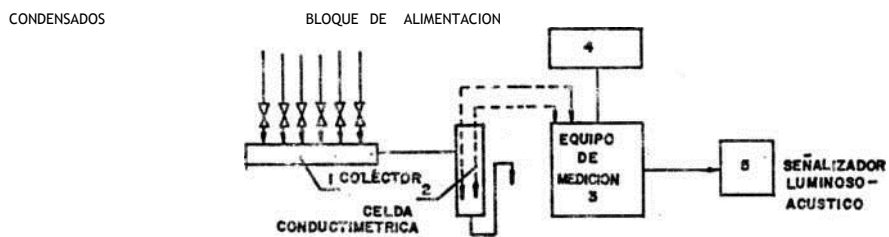


Fig.10. Instalacion para la medicion de la conductividad electrica de los condensados

En el caso de que se supere el valor establecido para la electroconductividad, es decir que hayaron contenido grande de azucar en la mezcla de los condensados, se dispara una señal luminosa y acústica. La posterior identificación de un condensado concreto que contiene azúcar, se realiza bien por desconexiones consecutivas de corta duración de cada tubo conductor, bien por la toma al mismo tiempo de muestra de todos los conductos con la subsiguiente medición de la electroconductancia de cada muestra. En (19) se señala la posibilidad de acelerar el proceso de búsqueda de la forma siguiente: Se establece una serie de celdas conductimétricas según el número de condensados individuales y una para las mediciones de la electroconductancia de la mezcla después del colector. En las condiciones normales de trabajo el equipo de medición está conectado con esta última celda. Si tiene lugar la alteración del régimen y la electroconductividad de la mezcla de los condensados supera cierto valor prefijado, por medio de un conmutador (selector) multipolar del conductímetro que consecutivamente se conecta a cada celda, se localiza la fuente de impurezas.

Con el objetivo de elevar la seguridad y sensibilidad de la determinación de trazas de azúcar por electroconductividad fue elaborado y ensayado un dispositivo (20), en el cual la muestra del condensado primeramente se evapora para separar los componentes volátiles (amoníaco, dióxido de carbono) de los no volátiles, (sales, ácidos, sacarosa). La separación de los gases cuya concentración no está relacionada con la presencia de azúcar en la muestra, permite determinar con mayor exactitud el azúcar en dependencia del contenido de los componentes no volátiles. Las dos muestras obtenidas a través de los condensadores por separado pasan a dos conductímetros, para la determinación indirecta del contenido de sacarosa en el primero y de los componentes volátiles en el segundo. La instalación (ver fig. 11) esta compuesta de una columna de destilación 1, el calentador 2, los condensadores 3 y 6, dos celdas para la medición de la electroconductividad 4 y 7, dos conductímetros 5, 8 y el equipo de registro 9.

Condensados

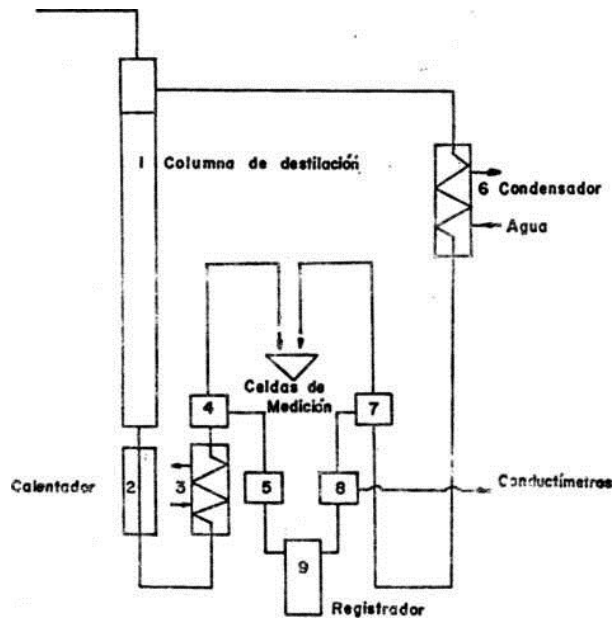


Fig. 11. Instalación automática para la medición de la electroconductividad de los condensados con separación de gases

El dispositivo funciona de la forma siguiente: el condensado a investigar entra por la parte superior de la columna de destilación 1 e hierve en el calentador 2. Con esto, en la columna tiene lugar la separación de los componentes volátiles, los cuales después de la condensación del vapor de agua y el enfriamiento hasta la temperatura de medición de la electroconductividad en el condensador 6, pasan a la celda conductimétrica y luego al desagüe. Cierta volumen del condensado, libre de componentes volátiles sale de la parte inferior del calentador y a través del condensador 3 se envía a la celda a corriente 4 del segundo conductímetro 5. Los valores

de electroconductividad de ambos conductímetros se registran por el equipo 9. La variación de la intensidad de calentamiento en el calentador 2 permite regular la correlación de volúmenes del condensado que entran en ambos conductímetros.

Además de la sacarosa, la presente instalación permite las determinaciones indirectas del contenido de los gases disueltos en los condensados del evaporador.

Entre las ventajas del método de control de la presencia de azúcar en los condensados por medición de la electroconductividad total se relacionan: la sencillez, bajo costo, posibilidad de trabajo continuo y automatización del proceso. Por ello el método encontró una aplicación bastante amplia en la industria. Al mismo tiempo una serie de insuficiencias presentes en este método ha impedido su posterior difusión y ha posibilitado la búsqueda de nuevos principios para la determinación de la pureza de los condensados, analicemos estas desventajas: En una serie completa de investigaciones (19, 20,21,22) se observa que no existe buena correlación entre la electroconductividad del condensado y el contenido de azúcar en el mismo. El dispositivo para el control de la calidad del condensado, sobre cuya base descansa este principio, es posible utilizarlo sólo como señalizador de trazas de azúcar y no como equipo para la medición exacta de su concentración. Así el presente método (19) en el mejor de los casos, posee una desviación del orden de $\pm 30\%$. Un gran impedimento es la presencia en los condensados de sustancias que varían notablemente su electroconductividad, pero que su concentración prácticamente no está relacionada con la concentración de azúcar. Estos, en primer orden, son los gases no condensados (amoníaco, dióxido de carbono). Además de éstos, existen las aminas, compuestos complejos de la fibra de la caña de azúcar (por ejemplo betaina) y también una serie de ácidos

orgánicos. El aumento de la electroconductividad también es provocado por los productos de la corrosión de los conductos de vapor y de los aparatos intercambiadores de calor. Por estas razones, la electroconductividad del condensado varía en amplios límites (frecuentemente de manera casual) en diferentes fábricas e incluso en una misma fábrica durante la temporada de producción; o con la variación de la calidad de la materia prima. En relación con esto surge la necesidad de establecer un amplio margen para que se produzca la señal y así eliminar las respuestas parásitas del sistema de control de la pureza del condensado. Esto inevitablemente conlleva una disminución de la sensibilidad del dispositivo.

Lo expuesto explica la aplicación del método en principio para la determinación de un gran contenido de azúcar en los condensados (mayor de 200 mg/l). Si anteriormente este nivel satisfizo las demandas que se exigían respecto a la calidad del agua de alimentación de las calderas de vapor, en la etapa actual, tomando en consideración el aumento significativo de la producción de vapor en las calderas, su temperatura de trabajo y presión, esta cantidad de sacarosa en el agua de alimentación no es permisible.

Al mismo tiempo el método es cómodo y efectivo para el control de sistemas en los cuales la electroconductividad varía bruscamente con respecto a la estándar (por ejemplo, el control de la presencia de agua de mar en el condensado de condensadores superficiales por la aparición de fugas (22)).

3.4 INDICADORES INDUCTIVOS DE CONCENTRACION DE IONES

En la literatura (21) se reporta la aplicación de un indicador inductivo de concentración (inductímetro), descrito también en (23, 24) para la determinación de amoníaco y azúcar en los condensados de los evaporadores, utilizados como agua de alimentación de las calderas de vapor.

Se ha establecido que el inductímetro posee una alta sensibilidad y permite determinar la sacarosa cuando se adiciona jugo desde 0,1 hasta 20 ml en 100 dm³ de condensado puro (es decir a una concentración de hasta 30 mg/l).

Se compararon las lecturas en la escala del inductímetro y los datos de la determinación con α -naftol. Se realizaron también experiencias con soluciones modelos relacionados con la determinación de amoníaco en el condensado en los casos cuando el jugo contenía cantidades pequeñas, grandes y variables de nitrógeno total.

Los ensayos en una serie de fábricas de azúcar mostraron que el indicador inductivo de concentración facilita el proceso de control de la calidad de los condensados y permite prevenir problemas de contaminación en las calderas de vapor.

La utilización del inductímetro es muy sencilla y cómoda; pero posee las deficiencias comunes de los métodos indirectos y requiere al parecer una corrección frecuente de las lecturas con la variación de la calidad de la materia prima elaborada, la composición del jugo, etc.

3.5 INTRODUCCION DE TRAZADORES

El fundamento del presente método de determinación de trazas de sacarosa en el condensado (15) es, que la presencia de impurezas en el vapor saturado, y después en el condensado, está provocada por el arrastre de pequeñas gotas de

solución conjuntamente con las sustancias disueltas en ellos por el flujo de vapor que posee una alta velocidad.

Para determinar la cantidad de impurezas que pasan al vapor se utiliza el coeficiente de arrastre. Se ha aceptado denominar coeficiente de arrastre de cualquier sustancia a la relación de las concentraciones de la misma en el vapor secundario con respecto a la solución evaporada:

$$K = C_v / C_s \quad (1)$$

donde: C_v es la concentración de la sustancia en el vapor saturado, mg/l

C_s es la concentración de la sustancia en la solución evaporada, mg/l.

Determinado el valor del coeficiente de arrastre para la especie indicadora por la fórmula (1), en el análisis paralelo de la solución evaporada y el condensado del vapor secundario, se puede calcular el contenido de la sacarosa en el condensado. Si se conoce el contenido de la misma en la solución evaporada. Para los cálculos se utiliza la fórmula sencilla.

$$G_v = K G_e \quad (2)$$

donde: G_v es el contenido de sacarosa en el condensado del vapor secundario, mg/l.

G_e es el contenido conocido de sacarosa en la solución evaporada, mg/l.

Mediante el fotómetro de llama se puede determinar la concentración de los iones, sodio, potasio, calcio y litio presentes en la disolución. Determinando el coeficiente de arrastre, para cualquiera de estos elementos se puede, por la fórmula (2) calcular el contenido de azúcar en el condensado si se conoce su contenido en la solución a ebullición. Teniendo en cuenta la pequeña concentración de iones de litio en el flujo de la producción azucarera, el mismo fue utilizado como elemento indicador (trazador).

El contenido mínimo de sacarosa determinado con la ayuda del presente método depende de la magnitud del coeficiente de arrastre y se encuentra en los límites de $5 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ % (5-1 mg/l) y la exactitud es $\pm 4\%$.

El método posee una alta sensibilidad y exactitud, sin embargo requiera la determinación constante de tres concentraciones: la del elemento indicador en la solución evaporada y en el vapor secundario (o en su condensado) y la sacarosa en la solución evaporada, luego se calcula el coeficiente de arrastre y al final la cantidad de sacarosa en el condensado. El tiempo relativamente grande de realización de todas las operaciones disminuye el valor

del método desde el punto de vista de aplicación práctica y su operatividad. Además, el complejo completamente automatizado de equipos para la determinación de trazas de sacarosa por el presente método en un régimen continuo tendría un alto costo y complejidad.

4. CONCLUSIONES

La elaboración de métodos y dispositivos para el control de la presencia de trazas de azúcar en los condensados del sistema intercambiador de calor se ha realizado en diferentes direcciones.

Paralelo a los métodos de determinación directa de sacarosa por los productos de inversión o descomposición (reacciones colorimétricas, descomposición térmica, fermentativa y otros), han encontrado también aplicación los métodos indirectos de control por los iones de metales, electroconductividad total, por medio del indicador inductivo de concentración y la introducción de trazadores en el jugo, etc.

A su vez, cada uno de los métodos posee una serie completa de modificaciones. Por ejemplo para la realización de las reacciones colorimétricas con sacarosa, en la literatura existe información sobre la aplicación de más de 15 sustancias diferentes, para la determinación de los iones acompañantes de las sustancias se utilizan la fotometría de llama y los electrodos selectivos a iones, el método de determinación de azúcar por la electroconductividad general de los condensados se realiza según diversas variantes. Han encontrado aplicación los métodos combinados, basados en la integración de los métodos arriba enumerados. Al mismo tiempo

la abundancia de métodos y dispositivos de control y sus modificaciones demuestran lo complejo del problema analizado. Esto se explica por la necesidad de la determinación exacta de cantidades muy pequeñas de sacarosa (10-50 mg/l o 10-50gr/m³) en los condensados industriales impuros, cuyas propiedades físico-químicas constantemente varían durante el trabajo de la fábrica de azúcar.

Los aparatos para el control de la pureza de los condensados se desarrollan por la vía de la creación de dispositivos automáticos de funcionamiento continuo que permitan excluir por completo el trabajo manual en esta operación (la prueba del azúcar con α -naftol) en el caso de la presencia de azúcar en el agua de alimentación de las calderas de vapor.

BIBLIOGRAFIA

1. - V.D. Tsutsura, P.A. Kulish, A.A. Lipetz. Sajarnaya Prom. 1974, N4. P. 53-56.
- 2, - P.H. Miller, W. O. Bernhardt, F. G. Eis. Continuous analysis of boiler feed water.- Sugar Journal, 1970, Vol. 33, N5, p. 27-29.
- 3.- K. S. Skarr. A continuous sugar analyzer for condensate water.- Sugar, 1942, Vol. 37, N6, P. 26-28.
4. - I. M. Prasad, I. K. Srivastava, G. Ramanathan. Spectrophotometric method of determination of sugar traces.- Proc. 42nd Ann. Conf. Sugar Tech. Assoc. India, 1978, P. 1-6.
5. - S. S. Morse. Anthrone to estimating low concentrations of sucrose. Anal. Chem., 1947, Vol. 19, P. 1012-1013.
6. - J. V. Finley, D. A. Fellers. Sucrose determination by a modified anthrone method. Cereal Chem., 1973, Vol. 50, P. 210-215.
7. - M. J. Fowler. Continuous sugar detection in refinery waste water. International Sugar Journal, 1978, N7_f P. 216.
8. - W. H. Parker, G. K. Bond. The SPALDINLAB sugar-testor. An apparatus for the automatic detection of traces of sugar in boiler feed water, etc. International Sugar Journal, 1958, Vol. 60, N711, P. 71-75.

- 9.- J. Buijin.. Automatic Sugar detection in boiler feed water.
Proc. of the South African Sugar Techn. Assoc., 1962,
April.
10. - K. Wagnerowski "Epol" a new high sensitivity reagent for
detecting sugar in boiler feed water. Gas. Cukr., 1977, Vol.
85, P. 101-105.
11. - Y, Takatori, . K. Toyama, T. Takezaki. Continuous deter-
mination of sugar condensates. Seito Gijutsu Kenkykaishi
(Proceedings of the Research Society of Japan Sugar Refineries
Technologists) 1975, Vol. 25, N5, P. 47-
52.
12. - E. D. Yarmilko, V. D. Tsutsura. Sajarnaya Prom. 1980, N6, P.
39-41.
13. - A. Dziengel. Saccharose-Teststreifen für die Zucker-
industrie. Zeitschrift für die Zuckerindustrie, 1977, Vol.
27, N9, P. 589-590.
14. - W. Uhlenbrock. Sugar loses in flume water and their ana-
lytical determination. Zucker, 1972, Vol. 25, p. 771-773.
15. - D. A. Stolyar, A. A. Andryujun, N. Yu Tobilevich. Sa-
jarnaya Prom. 1970, N9, P. 33-34.

16. -Monitoring of entrainment in evaporators and vacuum pans. Sugar factory research and development in South African. Ann. Report of Sugar Milling Research Inst. (University of Natal), 1976.
17. -M. L. Verhaart. Flame photometer for detecting sugar in boiler feed water.- Zucker, 1966, Vol. 19, P. 509-510.
18. -T. B. Dale, J. P. Lamusse. Monitoring of entrainment by vapor sampling and the use of flame photometer. Proc. 51th Congr. S. African Sugar Techn. Assoc., 1977, P. 116-118.
19. -J. W. Hill, P. G. Atherton Monitoring of boiler feed water contamination.- Thirty-fourth conference, 1967, P. 113-122.
20. -S. Zagrodzki, A. Kubasiewicz. Heat economy in beet sugar factory evaporation. IX Apparatus for testing condensate formed during juice evaporation. Sugar Technology Reviews, 1978, Vol. 5, N 1-2, P. 68-70.
21. -H. Zaorska, S. Zagrodzki, M. Ludwicki, S. M. Zagrodzki jr. Aparat do badania jakosci skroplin z wyparki. Gazeta Cukrownicza, 1978, Vol. 86, P. 73-76.
22. -W. E. Douglas. Aplicación de un viejo principio en el control de la contaminación de azúcar en condensados. Proc. Ann. Congr. S. African Sugar- Techol. Assoc. 36th Congress, 1962, N2, P. 53-55.

23. - H. Zaorska. Apparatus for testing condensate formed during evaporation of solutions. *International Sugar Journal*, 1974, Vol. 76, P. 199-200.

24. - S. Zagrodzki, S. M. Zagrodzki jr. Anwendung des Induktometers zur Alkalitätsmessung in Zuckersäften. *Zucker*, 1970, Vol. 23 N17, P. 504-508.