



CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO OPERACIÓN DEL RECLAIMER

Carlos Corsi - Roberto Betancur - Pablo Trovarelli
Petrolera Santa Fe S.R.L., Neuquén, Argentina
Carlos Frey
Huntsman Corp., Houston, TX

INTRODUCCIÓN

El servicio del reclaimer en una planta de aminas reside en la importancia de restaurar la solución, eliminando tanto contaminantes físicos (arena, partículas insolubles), como contaminantes químicos (sales estables al calor, productos de degradación de la amina).

Este trabajo describe el estudio y operación de un reclaimer existente en una planta de aminas operada con Diglycolamina® (DGA® Agent), así también como las modificaciones que fueron implementadas y que permitieron una operación eficiente, minimizando los consumos y la corrosión de planta.

ANTECEDENTES Y PROBLEMAS OPERATIVOS

El reclaimer descrito en este artículo forma parte de la planta de aminas ubicada en el Yacimiento Sierra Chata, Neuquén, Argentina. Los productos de degradación de la amina, los contaminantes, y las altas concentraciones de sales estables al calor son factores que han promovido altos niveles de corrosión, emulsiones, formación de espuma, altos consumos de amina por arrastres, y cambios frecuentes de filtros.

Durante la operación inicial de la planta de aminas hubieron problemas de espuma con arrastres de amina, y daños por corrosión en los equipos. Estos problemas dieron como resultado incrementos de los costos operativos e ineficiencias en la remoción de CO₂.

MEJORAS REALIZADAS EN PLANTA

El origen de los inconvenientes obedece a factores externos e internos. A efectos de minimizarlos, como primer paso se realizaron tareas para evitar la penetración de contaminantes al sistema. Sobre la base de detallados análisis de los fluidos y en trabajos con SEM, fueron realizados los siguientes cambios:

- El sistema de filtrado original de la corriente de gas de ingreso a la Contactora fue reemplazado por un nuevo diseño que contempla mayor área de filtrado, y cartuchos filtrantes desarrollados en base a los contaminantes presentes.
- Se priorizó el filtrado de la solución de amina con cartuchos de especificación 10 micrones absolutos en reemplazo de 10 micrones nominales.



- El agua de reposición de las plantas de amina fue purificada mediante la instalación de dos plantas de tratamiento por ósmosis inversa para la remoción de sales.
- Los lechos de carbón activado nuevos son enjuagados con abundante cantidad de agua desmineralizada antes de ponerlos en servicio con el fin de remover los finos del carbón y las sales solubles.

REGENERACIÓN DE LA AMINA POR RECLAIMING

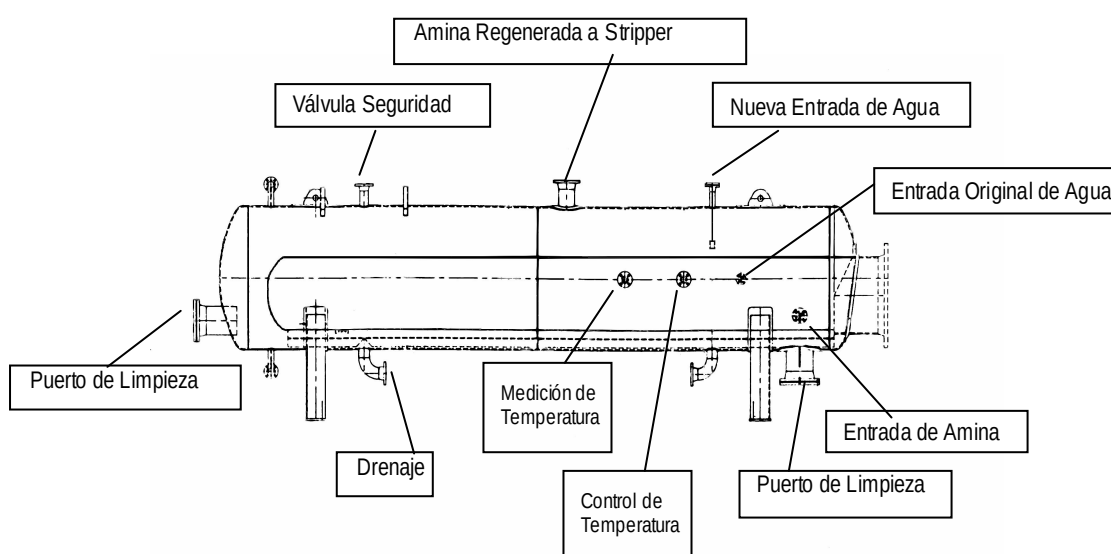
Es un punto importante en el proceso y es llevada a cabo por el reclaimer. Este equipo tiene un rol primordial en la reducción de la corrosión, espuma y degradación de la amina en la solución. Devuelve la utilidad a la amina, removiendo los ácidos no volátiles y productos de alto punto de ebullición en la solución.

Diseño Original del Reclaimer

El reclaimer existente consiste en un rebullidor horizontal tipo kettle de 2.743 metros (9.07 pies) de diámetro y 8.648 metros de longitud (24.8 pies) (Ver **Figura 1**). El nivel de líquido se mantiene operativamente entre 5 y 7.5 centímetros (2 y 3 pulgadas) sobre el mazo de tubos, quedando unos 40 centímetros (16 pulgadas) libres de fase vapor para separar el líquido arrastrado hacia el tope. La solución de amina ingresa por una línea de 2 pulgadas de diámetro ubicada en uno de los extremos del equipo, cercana al fondo. El agua, por su parte, ingresa por una línea de 1 pulgada de diámetro ubicada en uno de los laterales de la carcasa, a la altura del eje central.

Los estudios y simulaciones realizadas con software y bibliografía específica, indican que las dimensiones de la carcasa son apropiadas para el servicio para el cual el reclaimer fue diseñado.

Figura 1: Esquema del Reclaimer

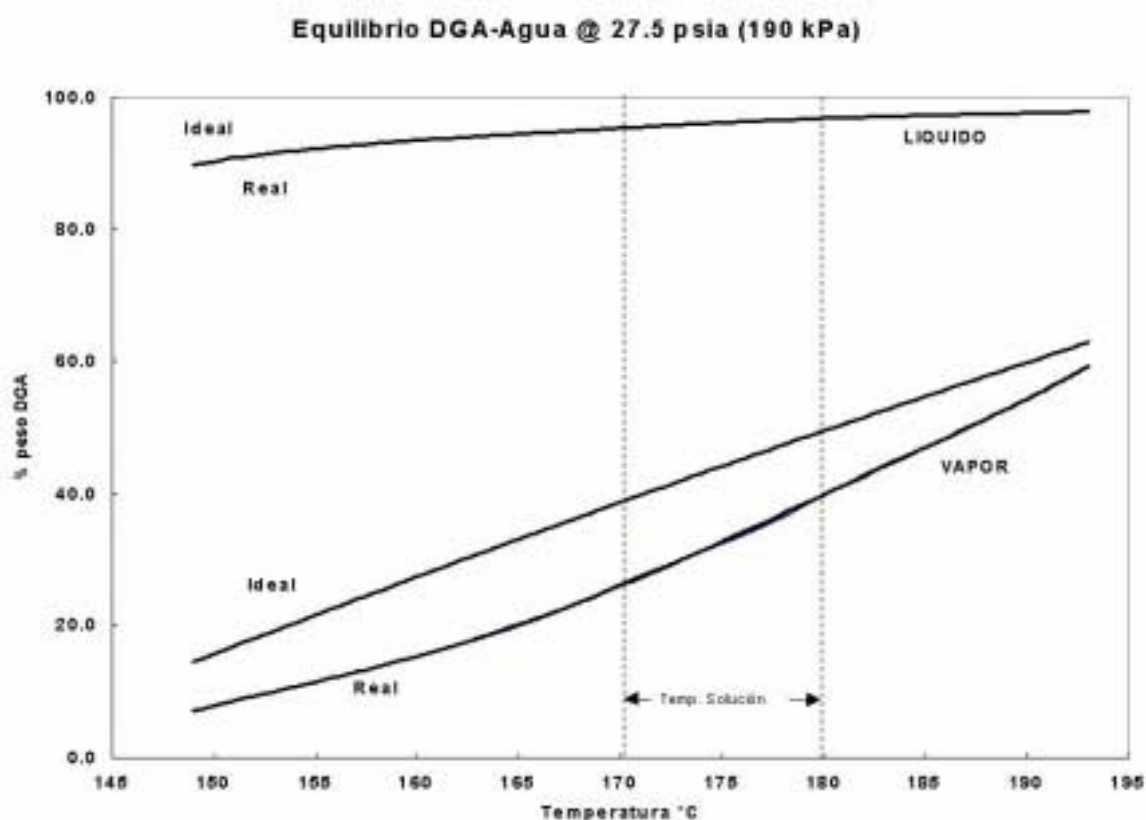




Operación del Reclaimer

La presión de trabajo normal del reclaimer en consideración es de 27.5 psia (190 kPa). La temperatura máxima recomendada de trabajo para el caso de la DGA® es de 182°C (360°F), siendo 180°C (356°F) la temperatura seteada de operación. El flujo de calor es aportado mediante un aceite térmico que circula por el mazo de tubos, mientras que nueva solución de amina es alimentada mediante la apertura de una válvula de control de nivel (LCV). Un controlador de temperatura (TC) envía una señal de apertura a la válvula de control TCV, permitiendo el ingreso de agua. El agua que ingresa enfría y diluye a la vez, comenzando un nuevo ciclo de concentración. Ambas válvulas son del tipo M-Form de tamaño 1 pulgada.

Figura 2: Curva de Equilibrio DGA®-Agua @ 27.5 psia (190 kPa)



La curva de equilibrio de la DGA®-Agua a 27.5 psia (190 kPa) indica que las composiciones reales de la DGA® en la fase vapor son inferiores a las indicadas considerando la curva de solución ideal calculada utilizando las leyes de Dalton y de Raoult. La pendiente de la curva de punto de rocío indica la importancia de mantener una temperatura lo más cercana posible a 182°C (360°F) para favorecer la mayor concentración de DGA® en la fase vapor, maximizando de esa manera la cantidad de amina regenerada.

El caudal normal de alimentación de amina es de 49-164 m³/d (9-30 gpm). El caudal de agua, por su parte, no es constante, y es de 16-32 m³/d (3-6 gpm), según necesidad y duración del ciclo de control de temperatura.



Inconvenientes en la Operación del Reclaimer

El reclaimer experimentaba un estado de evaporación violenta con bruscos movimientos de nivel asociados, y arrastres de líquido junto a los vapores del tope. Pudo verificarse que este comportamiento sucedía especialmente en los momentos de ingreso de agua para control de temperatura del equipo y durante las etapas de dilución previas a la limpieza del reclaimer. Con el fin de mejorar la operación del reclaimer, se trabajó en ajustes del lazo de control de temperatura y en modificaciones de la válvula TCV, sin resultados satisfactorios.

PLAN DE ACCION EJECUTADO

A partir de estas circunstancias, se elaboró un plan de acción que comprende:

- Tests de Laboratorio
- Estudio del Proceso
- Modificaciones en Reclaimer

Tests de Laboratorio

Los tests de laboratorio fueron diseñados para simular la operación del reclaimer, con el fin de un mejor entendimiento del problema, y para determinar los métodos para resolverlo. El aparato consistía en:

- Un balón de destilación (con una manta calefactora para suministrar un flujo calórico homogéneo)
- Una columna refrigerada para condensar los vapores de destilación
- Medición de temperatura en el seno del líquido, en la salida de vapores, y en la manta calefactora.
- Inyección de agua y/o solución de amina a través de una bureta en un tubo capilar.

La concentración de DGA® fue determinada por titulación colorimétrica. la concentración de iones cloruros fue medida usando un titulador potenciométrico modelo Metrohm 716.

Los experimentos iniciales simularon el ciclo de concentración del reclaimer hasta una temperatura de 180°C (356°F). El nivel de líquido en el balón fue mantenido constante con la adición de una solución 55% peso de amina. La concentración de iones cloruros al inicio del experimento era 20 mg/lit. Al final del experimento, la concentración resultante de iones cloruros en el líquido remanente en el balón fue de 4000 mg/lit.

La siguiente fase de los experimentos demostraron la importancia del mecanismo mediante el cual el agua es adicionada. Cuando la inyección de agua se hizo en el seno de la solución se produjo una ebullición rápida y violenta. En cambio cuando el agua fue inyectada unos milímetros por debajo de la superficie del líquido, la ebullición era controlada y menos vigorosa. El cambio volumétrico que ocurre cuando el líquido es vaporizado violentamente genera una fuerza capaz de arrastrar una considerable cantidad de líquido de la solución de amina del balón hacia la fase vapor. Las tablas de vapor saturado standard muestran que el agua pura a 453°K (356°F) (condiciones típicas de operación del reclaimer) experimenta en la ebullición un cambio volumétrico de 0.191 m³/kg (3.093 pie³/lb).

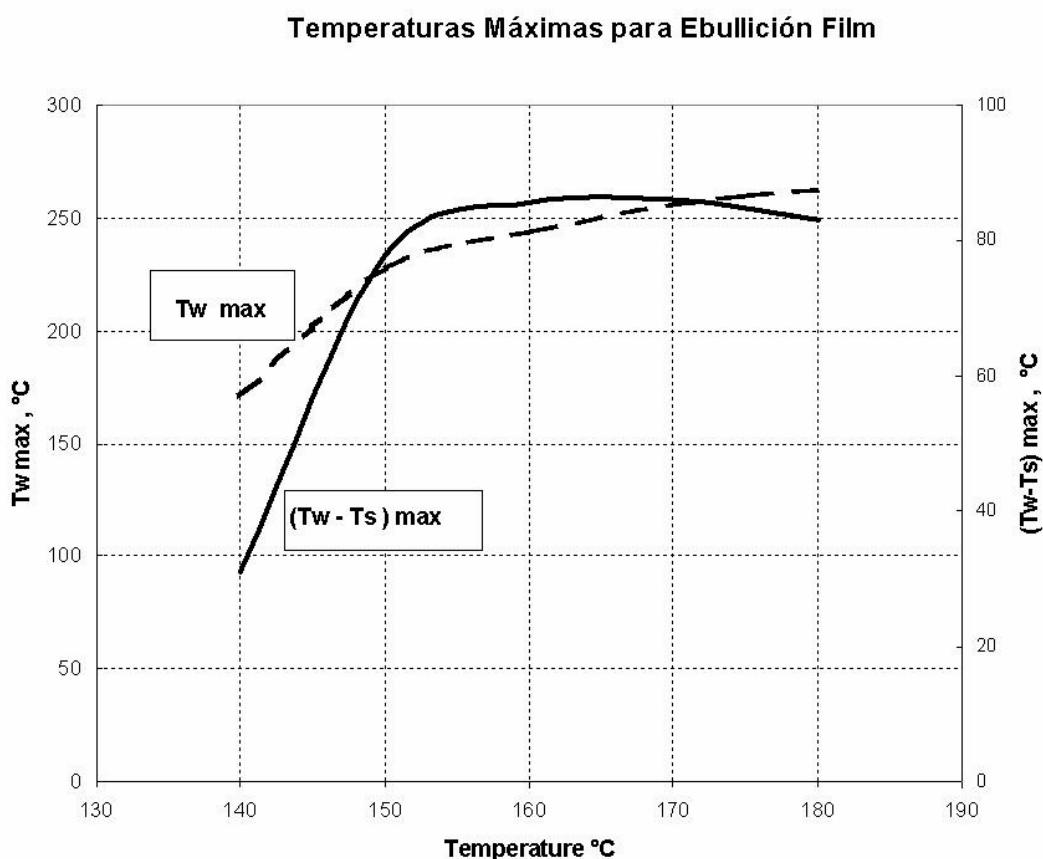


Los experimentos de laboratorio probaron la importancia del método de agregado de agua en el reclaimer como factor para mantener estable la solución. Si el agua es inyectada de manera tal de asegurar un buen mezclado (por ejemplo, en forma de jets distribuidos radialmente), existe una mejor difusión y distribución en la solución de amina caliente. Los resultados fueron una evaporación eficiente, un control de temperatura estable, y menos arrastre de líquido en la fase vapor.

Estudio del Proceso

El flujo de calor del reclaimer varía a lo largo del recorrido del fluido calefactante por el interior de los tubos, dependiendo de la diferencia de temperatura externa de pared del tubo, T_w , y de la temperatura de saturación (o de ebullición) de la solución, T_s . Por lo tanto, en función de esta diferencia de temperaturas $T_w - T_s$, el mecanismo de ebullición (pool boiling) puede ser diferente. El cálculo del calor crítico o calor máximo para el mecanismo de ebullición nucleada permite obtener el dato de la máxima temperatura en exceso $T_w - T_s$ de trabajo del reclaimer. Este cálculo indica, en definitiva, la máxima temperatura del fluido calefactante para evitar ebullición del tipo film, que es inestable. La **Figura 3** resume estos datos para una solución de DGA®-Agua que hierve a 27.5 psia (190 kPa), a diferentes temperaturas posibles de trabajo del reclaimer.

Figura 3: valores máximos en la solución de amina para ebullición Film Boiling



En un ciclo de dilución, el agua entra en forma de líquido subenfriado (a 49°C), y a 27.5 psia (190 kPa) evapora a una temperatura aproximada de 118.5°C, estando la solución a 180°C. El ingreso en forma continua por la entrada lateral (según el diseño original) hace que bolsones de agua evaporen antes de mezclarse con la solución que contiene mayoritariamente amina, tomando contacto con el



haz de tubos calefaccionante. La diferencia de temperaturas máxima permitida en la ebullición nucleada del agua en esas condiciones es de unos 11°C con un flujo máximo de calor calculado en 1.085 MM kcal/hr m² (0.4 MM BTU/hr.pie²). La evaporación del agua que ingresa en este medio es violenta e inestable (ebullición tipo film), produciendo movimientos y arrastres de líquido en el reclaimer. En base a este análisis se definió la importancia de trabajar el reclaimer con una temperatura del fluido calefaccionante lo más baja posible para evitar grandes diferencias de temperatura entre el mazo de tubos y el líquido en ebullición.

Modificaciones en el Reclaimer

Ingreso de Amina. La alimentación al reclaimer fue habilitada también por las salidas de fondo, favoreciendo dejar despejadas las vías de drenaje para las limpiezas del equipo.

Ingreso de Agua. Se cambió el lugar y la forma de agregar el agua. La brida de alimentación original de agua fue bloqueada, habilitando el ingreso por la parte superior del equipo. El agua entra por una brida de tope y fluye por una línea hasta un difusor de acero inoxidable ubicado al ras de nivel del equipo. De esta manera el ingreso se produce en forma radial distribuida sobre el nivel de amina. Esta modificación ha sido fundamental para la operación estable del reclaimer, siendo además de muy bajo costo monetario.

Con referencia a la **Figura 2**, y de acuerdo al equilibrio vapor-líquido, cuanto menor es la temperatura de destilación de la solución, menor es la concentración de DGA® en los vapores. Esto lleva asociado menor requerimiento de calor y menor caudal de alimentación de amina al reclaimer. La **Tabla 1** resume los valores calculados para el rango de operación 170-180°C a 27.5 psia (190 kPa).

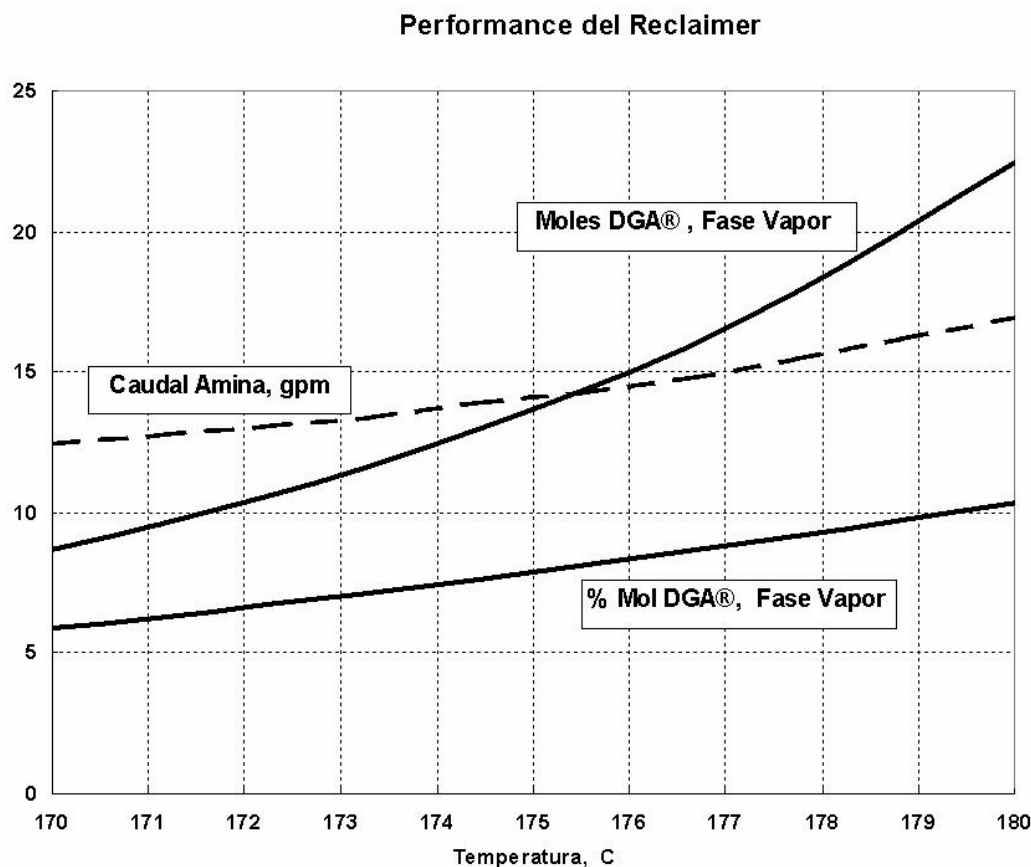
Tabla 1: Rendimiento del Reclaimer según Temperatura de Operación

temp °F	temp °C	alim. amina gpm	lbmol/hr vapor	% mol DGA® vapor	% mol DGA® líquido	Calor MMBTU/hr
338	170.0	12.5	147.6	5.88	77.5	3.53
340	171.1	12.8	152.4	6.28	78.19	3.64
342	172.2	13.1	157.2	6.71	78.86	3.76
344	173.3	13.4	162.7	7.15	79.51	3.89
346	174.4	13.9	169.6	7.62	80.14	4.05
348	175.5	14.3	176.6	8.12	80.76	4.21
350	176.6	14.8	184.4	8.63	81.36	4.39
352	177.7	15.5	194.2	9.18	81.95	4.62
354	178.8	16.2	204.9	9.75	82.52	4.87
356	180.0	17.0	217.0	10.36	83.08	5.15

La **Tabla 1** muestra la importancia de operar el reclaimer a la mayor temperatura posible (en este caso 180°C), tratando de mantener la solución en ese valor seteado para maximizar el caudal de solución de amina regenerada. La **Figura 4** grafica algunos de estos valores. La instalación de un difusor de agua, que optimice el mezclado amina-agua, se ve justificada tanto en estabilidad del proceso, como en rendimiento del reclaimer.



Figura 4. Importancia de operar a 180°C



La elección del tipo y forma del difusor es el resultado de sencillos cálculos de los caudales resultantes en el reclaimer, siendo el objetivo contemplar que la evaporación durante el ingreso de agua se aproxime al caudal de evaporación de diseño (calculado en períodos sin ingreso de agua). Para el caso del reclaimer existente en planta, se trata de un difusor de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro, y que cuenta con 8 orificios de 1 mm de diámetro. De esta manera, el ingreso de agua en un ciclo, para una misma cantidad total, se realiza en un tiempo considerablemente mayor respecto del ingreso lateral según el montaje original (Ver **Figura 5**). El caudal de vapor generado durante el ingreso de agua con difusor es considerablemente menor (en un 25%) al caudal de vapor generado durante el ingreso de agua según el ingreso lateral original de diseño. Asociado a esto, las velocidades de vapor en la tobera (nozzle) de salida del reclaimer son menores, alcanzando un valor máximo de 31 m/seg. con el uso del difusor, contra 36 m/seg. con el ingreso original de agua (Ver **Figura 6**). De esta manera, el reclaimer opera en forma más estable debido al descenso de la velocidad de la corriente de vapor.



Figura 5. Ingreso de amina y de agua al Reclaimer

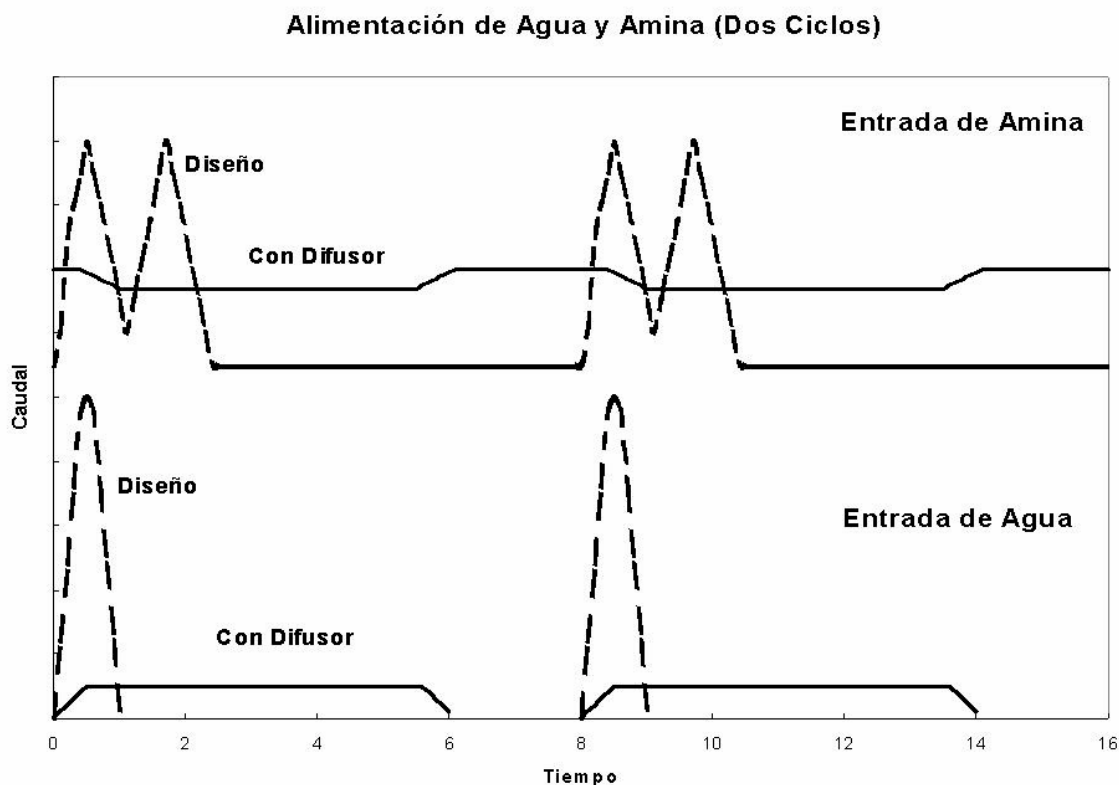
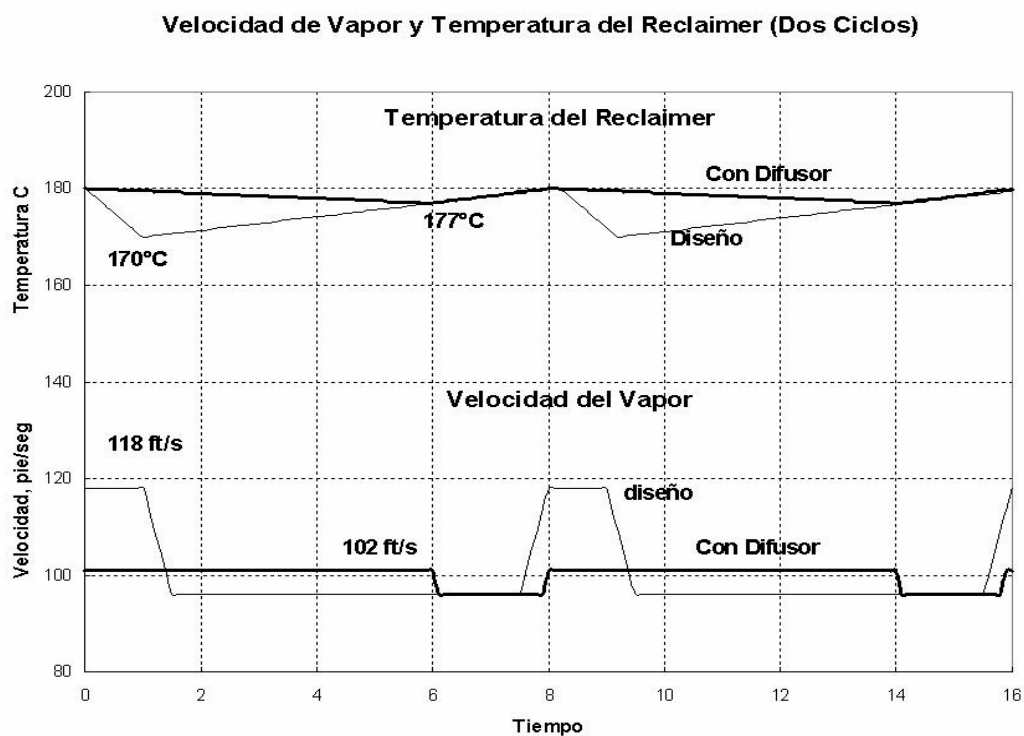


Figura 6. Ventajas del uso del Difusor





Inyección de Vapor. **Se habilitó un distribuidor de vapor para posibilitar una buena dilución de los líquidos del fondo.**

Separador de Gota. Se instaló un separador de gota para retener y devolver al reclaimer los líquidos arrastrados junto a los vapores. Se considera probable que si el espacio comprendido entre el nivel de líquido y la salida de vapor fuese mayor, este separador no sería necesario.

RESULTADOS

El cumplimiento del plan de acción ha permitido obtener una operación estable del reclaimer. La frecuencia de operación continua sin paros por limpieza se extendió desde 4 (cuatro) meses hasta 9 (nueve) meses. La máxima concentración de cloruros obtenida en la solución concentrada del reclaimer en el fin del ciclo y previo a la limpieza, fue de 6000 mg/lit. Los sólidos recolectados en el reclaimer al final del ciclo tienen en su composición mayoría de productos orgánicos.

El descenso de la concentración de iones cloruros, desde 1600 mg/lit hasta valores menores a 20 mg/lit significó menores tasas de corrosión medida en planta. Menor cantidad de contaminantes sólidos en el circuito de aminas llevó a disminuir la frecuencia de cambios de filtros.

CONCLUSIONES

Un reclaimer cumplirá eficientemente su cometido si la operación se desarrolla en forma estable. Esto comprende los siguientes puntos fundamentales:

- El nivel del líquido no debe experimentar variaciones bruscas ni deben existir arrastres de líquido con los vapores del destilado de tope
- El control de temperatura mediante el agregado de agua debe ser apropiado
- El reclaimer debe ser diseñado con una relación L/D apropiada, por ejemplo $L/D=3$
- La remoción de contaminantes de las corrientes de ingreso de gas, de agua de reposición, y de la amina circulante es muy importante

Resultados

- **Las altas concentraciones de sales en la solución circulante de las plantas de amina del Yacimiento Sierra Chata pudieron ser llevadas a niveles muy bajos**
- **La corrosión asociada y la formación de espuma en las torres de contacto fue minimizada**



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Applied Process Design for Chemical and petrochemical Plants. Ernest E. Ludwig.
- Two-Phase Flow and Heat Transfer. P.B.Whalley. Oxford University Press, 1996.
- Heat Transfer. Adrian Bejan
- Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Frank P. Incropera and David P. de Witt. 5th Edition.
- Procesos de Transferencia de Calor. Donald Q. Kern, 1998.
- Engineering Data Book. Gas Processors Suppliers Association GPSA. Tenth Edition.
- Gas Conditioning and Processing. Volume 4: Gas Treating and Sulfur Recovery. Dr. Robert Maddox and John Morgan. Campbell Petroleum Series, 1998.
- Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. J.M.Smith – H.C. Van Ness.
- Elementos de Química-Física. Samuel Glasstone y Davos Lewis.
- Reclaimer Design and Operation. Huntsman Gas Treating Team.
- Diglycolamine® Agent (DGA®). Brand of 2-(2-aminoetoxy) ethanol. Huntsman Technical Bulletin.
- Alkanolamines: Operation Issues and Design Consideration. David Street (Huntsman Corp). Sulfur Recovery Symposium, 1995.
- A review of Current Diglycolamine Agent Gas Treating Applications. Tom F. Moore and Fred L. Johnson, Jr. Environmental Progress, Vol. 3, N°3, 207-212, 1984.
- DGA® proves out as a low-pressure gas sweetener in Saudi Arabia. Malcolm Huval, Harry van Venne. Oil & Gas Journal, Aug 17, 1981, Page 91-103.
- Manual del Ingeniero Químico. Perry. Sexta Edición. McGraw-Hill.

SOFTWARE UTILIZADO

- STX – Shell and Tube Exchanger Design, Rating and Evaluation Program, HTC-STX, Versión 2.50
- Tsweet 98.2 - Bryan Research & Engineering
- Hysys 2.4.1 – Hyprotech