

Incremento de la eficiencia del sistema de captación de gases de purga en una planta productora de amoniaco

Zulay Niño, Juan Portillo, y Sergio Pérez

Universidad de Carabobo, Escuela de Ingeniería Química

E-mail: znino@uc.edu.ve

Resumen

El trabajo de investigación desarrollado tiene como objetivo general evaluar el área de captación de gases de purga en dos Plantas productoras de Amoniaco con iguales capacidades y procesos productivos, al detectarse una disminución progresiva de la eficiencia real del área operativa mencionada. La investigación se realiza con el objeto de mejorar los parámetros de control del proceso, maximizar la eficiencia de captación de gases potencialmente contaminantes y optimizar la relación beneficios/gastos que generan las actividades operativas. La evolución de la investigación contempla la modelación en un simulador comercial de procesos estacionarios, del área de captación bajo sus condiciones de diseño, la validación de los resultados con información operativa ampliamente recopilada, así como el establecimiento de un mecanismo de optimización de productividad del sistema al evaluarse la incidencia de diversas variables del proceso sobre los parámetros de control del mismo, y finalmente, la predicción del impacto económico que tendrían diversos esquemas operativos del área de captación. Los resultados obtenidos en las diversas etapas permiten concluir que el sistema de captación de gases de purga en las Plantas de Amoniaco está en capacidad de generar mejores resultados operativos si se llevan a cabo algunas modificaciones en los puntos de control del proceso, garantizándose la captación adecuada de efluentes contaminantes y la generación de beneficios económicos importantes para las Planta de Amoniaco.

Palabras clave: Simulación de procesos, sistema de captación de gases de purga, proceso de producción de amoniaco

Increase of the efficiency of the gas purification system in an ammonia producing plant

Abstract

The following investigation developed has as general objective to evaluate the area of the gas purification system in the two Plants of production of Ammonia with equal process and capacity on there having be detected a progressive decrease of the real efficiency of the operative mentioned area. The investigation was done in order to improve the parameters of control in the process, maximize the efficiency of gas captation potentially pollutants and optimize the relation benefits/expenses that generate the operative activities. The evolution of the investigation contemplates the modeling in the commercial simulator of stationary processes, the area of purification under his conditions of design, the validation of the results with operative widely compiled information, As well as the establishment of a mechanism of optimization of productivity of the system on there having evaluated the effect of diverse variables of the process on the parameters of control, and finally, the prediction of the economic impact that there would have diverse operative schemes of the area of purification. The results obtained in the diverse stages allow to conclude that the system of gas purification in the Plants of Ammonia is in capacity to generate better operative results if they take to themselves to end some modifications in the points of control of the process, there being guaranteed the suitable captation of effluent pollutants and the generation of economic important benefits for them Plants of Ammonia.

Keywords: Simulation of processes, system of gas purification, process of production of ammonia

1. INTRODUCCION

La manufactura de amoniaco, es vital para la producción de fertilizantes y otros derivados industriales.

En esta investigación se trabajó con dos plantas de amoniaco, con idénticas capacidades de producción y procesos tecnológicos. El esquema de manufactura de estas plantas contempla la eliminación continua de una

corriente de gas a la atmósfera, con el propósito de controlar la tendencia a la acumulación de sustancias inertes en el sistema y de ésta forma asegurar la estabilidad del proceso. No obstante, la mencionada corriente gaseosa posee un contenido apreciable de amoníaco, y por su atractivo económico se introduce a un sistema de captación de gases antes de ser definitivamente expulsada a la atmósfera.

El objetivo de este trabajo de investigación es el de evaluar el funcionamiento del área de captación de gases de purga de dos Plantas productoras de Amoníaco, para estimar la eficiencia de su diseño y estimar los valores en las variables de control que permitan alcanzar la operación óptima del área. La evolución de la investigación contempla la modelación, en un simulador comercial de procesos estacionarios, del área de captación bajo sus condiciones de diseño, la validación de los resultados con información operativa ampliamente recopilada, así como el establecimiento de un mecanismo de optimización de productividad del sistema al evaluarse la incidencia de diversas variables del proceso sobre los parámetros de control del mismo, y finalmente, la predicción del impacto económico que tendrían diversos esquemas operativos del área de captación.

2. METODOLOGIA

La metodología seguida para llevar a cabo la presente investigación contempla las siguientes etapas:

- Recopilar la información necesaria sobre el proceso de captación y los equipos que lo conforman a partir de visitas a las plantas con el fin de precisar detalles en cuanto a las condiciones de operación y funcionamiento real de los equipos. Revisión de las especificaciones del diseño de cada equipo que se encuentran disponibles en los libros mecánicos de las Plantas de Amoníaco y comparación con los archivos de información que se generen durante la representación del sistema de captación, los cuales contienen todas las actualizaciones de información y modificaciones que se han llevado a cabo en los equipos del sistema. Revisión de los manuales de funcionamiento y operación de cada una de las etapas del sistema de captación [1], así como diagramas de procesos y diagramas de tuberías e instrumentación que especifican las condiciones operativas.
- Simulación del proceso bajo condiciones de diseño [2]. El sistema de captación de gases de purga, el cual se muestra en la Figura 1, presenta circuitos cerrados entre algunos equipos, a partir de lo cual se puede prever un proceso de convergencia lento y dificultoso, por ello, para

optimizar el proceso de convergencia y minimizar el tiempo a invertir en la simulación [3], se realizaron simulaciones parciales del sistema, es decir, simular determinados equipos como subsistemas individuales e independientes, lo que permite obtener resultados confiables en un tiempo de evaluación menor. De acuerdo a experiencias previas en la simulación de sistemas de procesos [3, 4, 5, 6], el tiempo invertido en la validación de resultados disminuye considerablemente con la puesta en práctica de las simulaciones parciales, ya que esto permite realizar validaciones de los subsistemas, previa a la conformación del sistema total. Se consideraron los siguientes subsistemas de simulación:

- E19 — P-9
- T-7 — E18
- P8 — E-17
- T-6

Una vez completados los subsistemas, se procede a enlazar los equipos según el esquema de la Figura 1, utilizando los resultados parciales como primeros estimados de las corrientes en la simulación final.

- Validación de la simulación. Una vez completada la simulación del sistema (simulación total), comienza el proceso de comparación de resultados del programa con la información disponible en los archivos de procesos y especificaciones de diseño [1]. Se realizan pequeños ajustes en la data introducida al programa buscando minimizar las diferencias entre los resultados obtenidos y las fuentes de información.

- Estudio de sensibilidad. En esta etapa se procede a analizar el comportamiento del sistema simulado al provocarse perturbaciones en diversas variables del proceso (flujos, temperaturas, presiones, etc.). El propósito de la generación de perturbaciones es determinar las condiciones de operación de los equipos que permitan mejorar el funcionamiento del sistema, bajo la premisa de incrementar la producción de amoníaco conservando la calidad del proceso. Resultado de un proceso evaluador de las variables potencialmente manipulables en el sistema real de captación, tanto en la Planta de Amoníaco A como la Planta de Amoníaco B, se seleccionaron las variables indicada en la Tabla 1 como las variables a perturbar durante la simulación del proceso.

De acuerdo a los principales elementos de control en el sistema real, los parámetros escogidos en la observación son:

Torre T-6: Temperatura tope y fondo; flujo de salida de tope y fondo y % de NH_3 en la salida de tope y fondo

Torre T-7: Temperatura tope y fondo; flujo de salida de tope y fondo y % de NH₃ en la salida de tope y fondo. Es necesario destacar que las variables a manipular son netamente operativas. No se consideran elementos mecánicos como potenciales variables a perturbar; ejemplo de las mismas:

- Puntos de alimentación a las torres T-6 y/o T-7
- Dimensiones de enfriadores
- Dimensiones de torres
- Cambios en materiales internos de las torres

Producto de este estudio se determinan los nuevos parámetros del proceso para alcanzar la operación óptima del área de captación.

- Determinación del impacto económico que produciría la implantación de la estrategia operativa propuesta para el área de captación. Se establecen las ventajas económicas potenciales al operar el sistema de captación de las

Plantas de Amoníaco bajo las condiciones ofrecidas en el estudio de sensibilidad. Se propone un sistema comparativo de rentabilidades que reflejaría la “ganancia económica” de cada situación operativa, y para lo cual es necesario plantear ciertas premisas de análisis:

- Evaluación de la rentabilidad del sistema de captación bajo tres escenarios de operación: condición de *diseño*, condición *actual* y condición *mejorada* (resultados del estudio de sensibilidad).
- Consideración únicamente de costos variables (materias primas e insumos) e ingresos por venta. El costo del amoníaco presente en el gas de purga no se considera en los costos variables, por ser el gas de purga un desecho del proceso.
- No se consideran costos fijos para ningún escenario

Tabla 1. Rango de variación de las Variables seleccionadas para el estudio de sensibilidad

VARIABLE A PERTURBAR	CONDICIÓN NORMAL	RANGO DE VARIACIÓN
Temperatura de entrada a T-6 del gas de purga	4 °C	2-6 °C
Flujo de alimentación del gas de purga	10.000 lb/h	9500-10.5000 lb/h
Presión de operación de la Torre T-6	255 psia	245-265 psia
Flujo de reciclo a T-6 de la solución amoniacal	12.000 lb/h	11400-12600 lb/h
Presión de operación de la Torre T-7	230 psia	220-240 psia
Flujo entrada a T-7 de amoníaco líquido	1326 lb/h	1170-1460 lb/h
Fracción vaporizada en el rehervidor	25%	22-25%

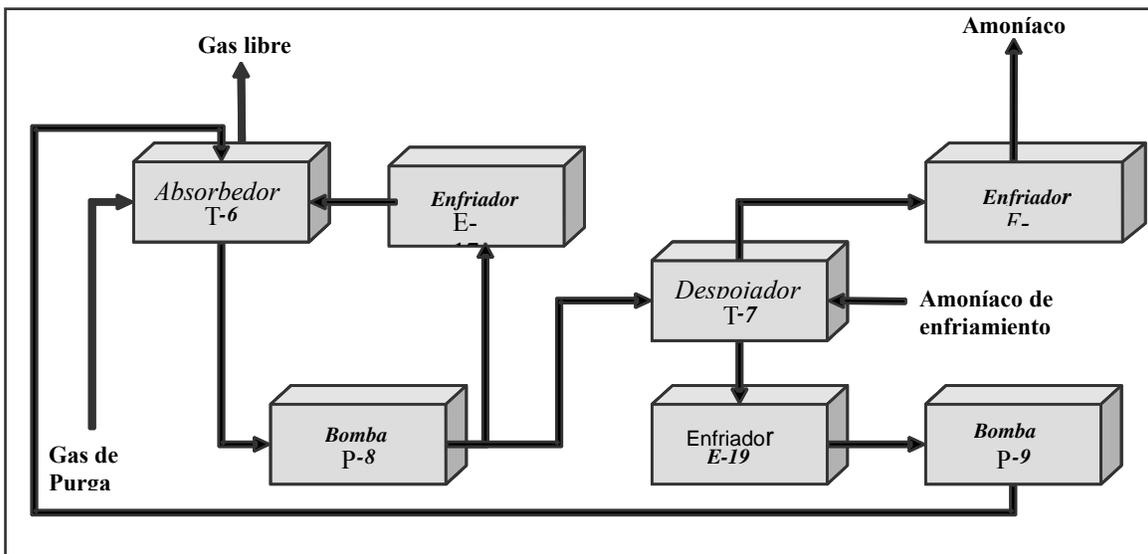


Figura 1. Diagrama de bloques Sistema de Captación de gases de Purga

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la simulación del sistema de captación de gases de las Plantas de Amoníaco

En la Tabla 2 se encuentran disponibles los resultados de la simulación de la torre absorbidora de amoníaco T-6. La corriente de alimentación de gas, proveniente de la sección de síntesis de la planta, tiene las mismas especificaciones indicadas en el diseño. No así la corriente de alimentación de líquido (tope), la cual es indicada en los datos de composición exclusivamente como agua, hecho que no se verifica ni en simulación ni en planta (esta corriente es el producto de un proceso de desorción, por lo cual no es lógico considerar una sustancia pura). El producto líquido (fondo) se caracteriza

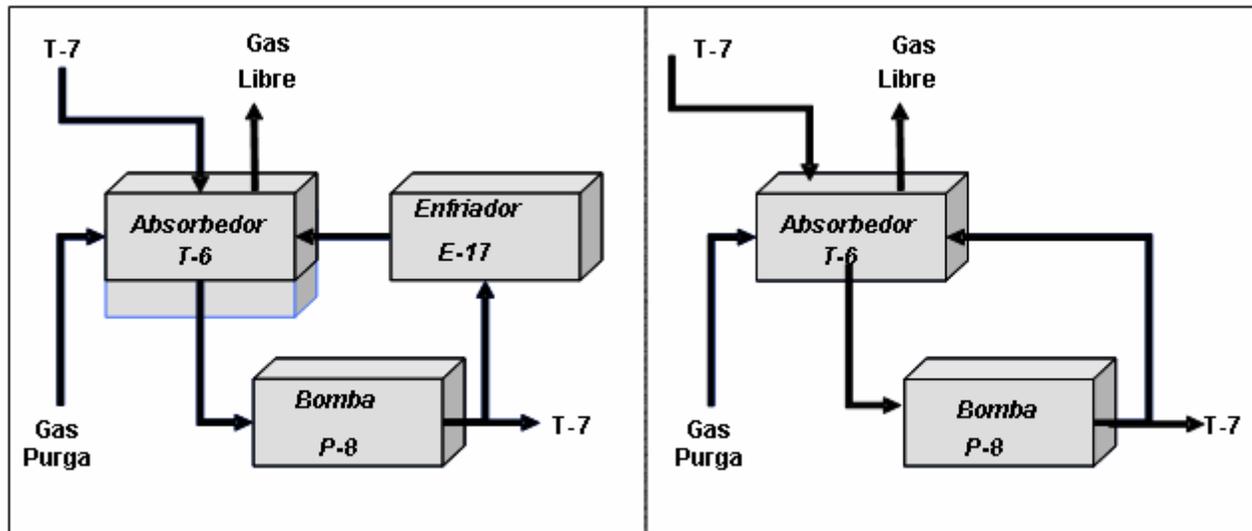
en composición y flujo muy similar a las especificaciones de diseño, y por consiguiente la corriente de reciclo a la torre T-6 también representa adecuadamente sus respectivas condiciones de diseño.

La temperatura de la corriente líquida de fondo no es indicada en las especificaciones de diseño, por lo tanto no es posible considerar una comparación con los resultados de la simulación, No obstante, es importante considerar otra condición resultante: la temperatura de fondo de la T-6 es de 24°C. Si la corriente retirada por el fondo de la T-6 es enviada parcialmente al enfriador E-17 (por medio de la bomba P-8), y el refrigerante es agua a 32°C, no será posible llevar a cabo enfriamiento alguno; caso contrario, el fluido sería expuesto a un calentamiento innecesario y que perjudicaría su función absorbidora una vez reciclada a la torre T-6.

Tabla 2. Comparación de los resultados de la Simulación de la torre T-6 con los datos de diseño

		DISEÑO	SIMULACION	DESVIACION (%)
<i>Alimentación de líquido</i>	Flujo (lb/h)	6422	6545	1.9
	Temperatura (°C)	38	38	0
	Composición (%p)			-1.6
	H ₂ O	100	99.4	
	NH ₃	0	0.6	
<i>Alimentación de gas</i>	Flujo (lb/h)	9993	10000	-0.1
	Temperatura (°C)	4	4	0
	Composición (%p)			0
	H ₂ O	0.0	0.0	
	NH ₃	11.2	11.2	
	CH ₄	12.2	12.2	
	H ₂	11.2	11.2	
	N ₂	52.5	52.5	
	Ar	12.8	12.8	
<i>Salida de líquido</i>	Flujo (lb/h)	19459	19387	-0.4
	Temperatura (°C)	N.D.	24	—
	Composición (%p)			2.1
	H ₂ O	85.0	86.8	
	NH ₃	15.0	13.2	
<i>Salida de gas</i>	Flujo (lb/h)	8922	9158	2.6
	Temperatura (°C)	38	38	0
	Composición (%p)			-2.4
	H ₂ O	0.6	0.7	
	NH ₃	0.0	2.4	
	CH ₄	13.7	13.3	
	H ₂	12.4	12.2	
	N ₂	58.8	57.4	
	Ar	14.5	14.0	
<i>Reciclo de líquido</i>	Flujo (lb/h)	12000	12000	0.0
	Temperatura (°C)	N.D.	24	—
	Composición (%p)			2.1
	H ₂ O	85.0	86.8	
	NH ₃	15.0	13.2	
<i>Presión de torre</i>	(psig)	240	240	0
<i>Etapas teoricas</i>		N.D.	3	—

N.D.: no disponible



Esquema Original

Esquema Propuesto

Figura 3. Diagrama de bloques de la modificación propuesta en el absorbedor

Al ser resultados obtenidos por el simulador, se decidió corroborar estos resultados con datos reales de campo. En ambas plantas de amoníaco, la temperatura de fondo de ambas torres T-6 se mantiene por debajo de la temperatura promedio de admisión de agua de enfriamiento a los intercambiadores E-17. Dada la verificación de resultados anteriores, y la ventaja comparativa que ofrece una temperatura menor en una corriente líquida absorbidora, se procede a eliminar de la simulación el equipo E-17, con lo cual el arreglo de la torre T-6 queda reducido al esquema de bloques indicado en la Figura 2.

En cuanto a la corriente de tope de la absorbidora T-6, la similitud entre el diseño y la simulación es notoria, tanto en flujo como en temperatura. Con respecto a la composición, la premisa establecida en el diseño de considerar absorción total del amoníaco dentro de la torre no es adecuada, ya que es conocido que un proceso con las características del analizado no puede considerar una eficiencia de absorción de 100%. A partir de lo anterior, la desviación en la composición en la corriente de tope simulada se ubica en 2.4% ($\text{NH}_3_{\text{diseño}}=0\%$, $\text{NH}_3_{\text{simulado}}=2.4\%$).

Otro parámetro importante es el número de etapas teóricas de separación. En la simulación se emplearon 3 etapas para lograr las condiciones obtenidas; pero por falta de información no fue posible comparar este número con la cantidad de etapas teóricas contempladas en el diseño.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la simulación de la torre despojadora de amoníaco T-7. La

alimentación de la solución amoniacal, proveniente del fondo de la torre T-6 y enviada por la bomba P-8, entra a la torre T-7 a una temperatura de 24°C con un flujo y composición similares a la data de diseño. El producto de fondo requiere alcanzar una temperatura de 197°C (4°C por debajo del diseño) para obtener una pureza de 99% en agua. La salida del gas por el tope de la T-7 tiene una temperatura de 76°C. Para obtener una pureza de 99% en NH_3 se requiere por equilibrio esta temperatura, por lo cual no es posible considerar válida la temperatura indicada en el diseño (40°C) para el tope de la torre T-7. Como mecanismo de verificación, se efectuaron mediciones en campo de la temperatura de tope de la T-7 (ambas plantas de amoníaco), observándose en todo momento valores ubicados entre 72°C y 78°C. Punto importante es considerar un consumo de amoníaco líquido ligeramente superior al flujo de diseño, requisito para mantener el balance másico/energético dentro de la torre.

Factor determinante de la eficiencia en desorción de la torre T-7 es el funcionamiento del rehervidor de fondo. El calor suministrado por este equipo es vital para mantener los tráficos de vapor y líquido dentro de la T-7 y garantizar la pureza del líquido que se envía a la torre absorbidora T-6. Al igual que en la T-6, no se dispone de información de diseño relativa a las etapas teóricas de la torre T-7. Sin embargo, los resultados en las corrientes de producto permiten suponer un número de etapas muy cercano al resultado de la simulación (8 etapas teóricas).

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la simulación del enfriador (E-18) de la corriente de tope de

la torre T-7, los cuales no se asemejan a las especificaciones del diseño. A pesar de lo anterior, si se analizan las condiciones del gas de entrada al intercambiador E-18 (vapor saturado a 215 psig), la temperatura necesaria para alcanzar la condensación completa del gas es 35°C aproximadamente, condición inferior a la indicada en el diseño (38°C). A esto se une un área de intercambio calórico obtenida que se ubica dentro de los rangos típicos de diseño (20 m²) y una tasa de transferencia de calor aceptable (887 BTU/h). El diseño propone un enfriamiento en la corriente de gas, desde 40°C hasta 38°C, utilizando agua de enfriamiento como medio refrigerante (entrando a 32°C y saliendo a 46°C). Al analizar el sistema de intercambio calórico de diseño,

se observa un “cruce de temperaturas” en el equipo, y como es conocido este fenómeno es improbable registrarlo en un intercambiador real. Como conclusión no son confiables las especificaciones del diseño para el enfriador E-18.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la simulación del enfriador (E-19) de la corriente de fondo de la torre despojadora T-7. Tanto las temperaturas, como el calor transferido, se asemejan notablemente a las especificaciones de diseño

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la simulación de las bombas de solución amoniacal y agua amoniacada, P-8 y P-9 respectivamente.

Tabla 3. Comparación de los resultados de la Simulación de la torre T-7 con los datos de diseño

		DISEÑO	SIMULACION	DESVIACION (%)
<i>Alimentación de líquido</i>	Flujo (lb/h)	7459	7448	-0.1
	Temperatura (°C)	N.D.	24	—
	Composición (%p)			2.1
	H ₂ O	85.0	86.8	
	NH ₃	15.0	13.2	
<i>Salida de líquido</i>	Flujo (lb/h)	6422	6545	1.9
	Temperatura (°C)	201	197	- 2
	Composición (%p)			-0.6
	H ₂ O	100.0	99.4	
	NH ₃	0.0	0.6	
<i>Salida de gas</i>	Flujo (lb/h)	2260	2229	-1.4
	Temperatura (°C)	40	76	90
	Composición (%p)			0.4
	H ₂ O	0.5	0.1	
	NH ₃	99.5	99.9	
<i>Alimentación NH₃ líquido</i>	Flujo (lb/h)	1126	1326	17.8
	Temperatura (°C)	-3	-4	33.3
	Composición (%p)			0.0
	NH ₃	100.0	100.0	
<i>Presión de la torre</i>	(psig)	215	215	0.0
<i>Rehervidor</i>	Vaporización %	0.25	0.25	0.0
	Calor transf. BTU-h	3619	2728	-24.6
<i>Etapas teóricas</i>		N.D.	8	—

N.D.: no disponible

Tabla 4. Comparación de los resultados de la Simulación de E-18 con los datos de diseño

		DISEÑO	SIMULACION	DESVIACION (%)
<i>Temperatura lado frío</i>	Entrada (°C)	32	32	0
	Salida (°C)	46	34	- 26
<i>Temperatura lado caliente</i>	Entrada (°C)	40	76	90
	Salida (°C)	38	35	-7.9
<i>Área de transferencia</i>	Flujo (m ²)	N.D.	20.6	—
<i>Calor transferido</i>	BTU-h	1223	887	-27.5

N.D.: no disponible

Tabla 5. Comparación de los resultados de la Simulación de E-19 con los datos de diseño

		DISEÑO	SIMULACION	DESVIACION (%)
<i>Temperatura lado frío</i>	Entrada (°C)	32	32	0
	Salida (°C)	46	44	- 4.4
<i>Temperatura lado frío</i>	Entrada (°C)	201	197	- 2
	Salida (°C)	38	38	0
<i>Área de transferencia</i>	Flujo (m ²)	14.3	14.3	0.0
<i>Calor transferido</i>	BTU-h	2216	1858	-16.2

Tabla 6. Comparación de los resultados de la Simulación de P-8 Y P-9 con los datos de diseño

			DISEÑO	SIMULACION	DESVIACION (%)
<i>Presión de descarga</i>	P-8	(psig)	277	277	0.0
	P-9	(psig)	278	278	0.0
<i>Flujo</i>	P-8	(GPM)	42	42	0.0
	P-9	(GPM)	15	13	-13.33
<i>Potencia</i>	P-8	(Hp)	3.80	2.06	-45.8
	P-9	(Hp)	3.80	3.32	-12.6%

Los flujos y presiones de descarga concuerdan con la información de diseño. Solo existen pequeñas diferencias en las potencias requeridas por diseño (ambas 3.8 Hp) y las obtenidas por la simulación (P-8: 2.06 Hp y P-9: 3.82 Hp). Los resultados del análisis de sensibilidad del proceso se muestran en la Tabla 7 para las variables de observación ligadas a la torre T-6 y en la Tabla 8 para las variables de observación ligadas a la torre T-7. Las variables de operación fueron perturbadas dentro del

rango indicado en la Tabla 1. Existen tres tipos de influencias de las variables de proceso manipuladas: Variables de proceso que no generan prácticamente perturbación alguna sobre los parámetros de control del sistema de captación. Variables que perturban los parámetros de control del sistema de captación de forma sensible, sin alcanzar punto de estabilidad. Variables de proceso que generan condiciones óptimas de operación en el sistema de captación.

Tabla 7. Resultados del estudio de sensibilidad del proceso de captación de gases de purga para las variables de observación ligadas a la torre T-6

VARIACIÓN DE OBSERVACIÓN →	PARAMETROS DE OBSERVACIÓN →	VARIABLE PERTURBADA ↓	TEMPERATURAS DE SALIDA DE T-6	FLUJOS DE SALIDA DE T-6	NH ₃ EN T-6
Temperatura de entrada a T-6 del gas de purga			Mínima (< 2 °C)	Mínima	Se incrementa flujo de NH ₃ en corriente de fondo al disminuir la Temperatura
Flujo de alimentación del gas de purga			Mínima	Mínima	al aumentar flujo se disminuye capacidad de absorber NH ₃ , al perderse relación de flujos internos.
Presión de operación de la Torre T-6			Mínima	Mínima	absorción favorecida al incrementar presión (mas NH ₃ en solución amoniacal).
Flujo de reciclo a T-6 de la solución amoniacal			perfil de temperaturas disminuye al incrementar tráfico de líquido	Mínima	aumento de reciclo favorece absorción de NH ₃ .
Presión de operación de la Torre T-7			Mínima	Mínima	aumento presión disminuye capacidad de absorción por incremento de NH ₃ en corriente de fondo de T-7
Flujo entrada a T-7 de amoniaco líquido			Mínima	Mínima	Mínima
Fracción vaporizada en el rehervidor			Mínima	Mínima	mientras mayor sea la vaporización, mayor es la capacidad del líquido para absorber NH ₃ en la T-6

Tabla 8. Resultados del estudio de sensibilidad del proceso de captación de gases de purga para las variables de observación ligadas a la torre T-7

VARIACIÓN DE PARAMETROS DE OBSERVACIÓN →	TEMPERATURAS DE SALIDA DE T-7	FLUJOS DE SALIDA DE T-7	NH ₃ EN T-7
VARIABLE PERTURBADA ↓			
Temperatura de entrada a T-6 del gas de purga	Mínima	Mínima	Productos de tope y fondo alcanzan composiciones óptimas al mantener T _{gas} = 4 °C
Flujo de alimentación del gas de purga	Mínima	Mínima	producto de tope alcanza composición óptima. Al incrementarse el flujo, T-7 pierde capacidad para procesar solución amoniacal proveniente de T-6
Presión de operación de la Torre T-6	Mínima	Mínima	productos de tope y fondo alcanzan composición óptima al mantener P _{T6} =240 psig.
Flujo de reciclo a T-6 de la solución amoniacal	Mínima	producto de fondo disminuye para mantener balance de líquido recirculando en todo el sistema.	productos de tope alcanza composición óptima al mantener condición de diseño.
Presión de operación de la Torre T-7	Mínima	Mínima	productos de tope alcanza composición óptima. Disminuye NH ₃ en producto de fondo al disminuir presión
Flujo entrada a T-7 de amoníaco líquido	Mínima	Mínima	producto de tope alcanza punto óptimo. Producto de fondo incrementa su contenido de NH ₃ al aumentar flujo de amoníaco líquido.
Fración vaporizada en el rehervidor	Mínima	Mínima	al aumentar vaporización se incrementa la capacidad despojadora de la T-7

En la Tabla 9 se ofrece un resumen de las variables de proceso manipuladas, donde se comparan los valores establecidos en el diseño del sistema de captación, respecto a los valores mejorados resultados del estudio de sensibilidad.

Las ventajas económicas potenciales al operar el sistema de captación de las Plantas de Amoníaco del Complejo Petroquímico bajo las condiciones mejoradas obtenidas a partir del estudio de sensibilidad, se calcularon bajo las premisas indicadas en la metodología. Para ello se consideraron los siguientes insumos:

- Vapor de 500 psig como medio calefactor en el rehervidor de la torre T-7
- Agua de enfriamiento para intercambiadores
- Amoníaco líquido para torre T-7
- Electricidad para motores de bombas

En la Tabla 10 se incluyen los niveles de producción de amoníaco y las cantidades de materia prima (amoníaco consumido) e insumos (agua, electricidad y vapor) que se verifican en cada condición de operación considerada.

Tabla 9. Parametros de operación en condición mejorada de acuerdo al análisis de sensibilidad realizado al proceso de captación de gases de purga

	CONDICIONES DE DISEÑO	CONDICIONES MEJORADAS
<u>ABSORBEDOR T-6</u>		
PRESION DE OPERACION	240 psig	240 psig
GAS DE ALIMENTACION		
<i>Flujo</i>	9993 lb/h	10000 lb/h
<i>Temperatura</i>	4°C	4°C
LIQUIDO DE RECIRCULACION		
<i>Flujo</i>	12000 lb/h	12000 lb/h
<u>DESPOJADOR T-7</u>		
PRESION DE OPERACION	215 psig	215 psig
AMONIACO DE ALIMENTACION		
<i>Flujo</i>	1126 lb/h	1326 lb/h
REHERVIDOR		
<i>Fracción vaporizada</i>	0.25	>0.25

Tabla 10. Producción y consumo para las tres condiciones de operación consideradas

	DISEÑO	ACTUAL	MEJORADA
NH₃ producido (TMD)	24.5	18.0	24.3
NH₃ consumido (TMD)	12.2	12.2	14.4
Agua de enfriamiento (m³D)	3995	3995	3630
Electricidad (KWD)	7.6	7.6	4.0
Vapor 500# (TMD)	51.1	52.5	39.6

En la Tabla 11 se presentan las rentabilidades de cada escenario operativo para el sistema de captación de las Plantas de Amoníaco para una base temporal diaria.

De acuerdo a los resultados de la Tabla 11, el escenario de condición de *diseño* para el sistema de captación es más rentable que el escenario de condición *mejorada*. Sin embargo, las estimaciones de diseño consideran un proceso de absorción total del amoníaco presente en el gas de purga, hecho poco probable de cumplir. En cambio, el escenario de condición *mejorada* considera una absorción de amoníaco de aproximadamente 80%, elemento aceptable y con altas probabilidades de ser real. Por lo tanto se sugiere considerar el escenario de condición *mejorada* como elección.

Otra consideración importante es establecer hasta donde son rentables los escenarios si se presentan variaciones significativas en los precios del amoníaco o en los costos de los insumos. Esto puede ser analizado mediante la estimación del *Break Even* (punto donde los ingresos se equiparan a los egresos). Si el proceso real no varía sus condiciones operativas (se mantienen los niveles de producción y consumos), el *Break Even* puede registrarse por:

- disminución de precios unitarios de los productos
- aumento de costos unitarios de materias primas e insumos

Tabla 11. Rentabilidad del proceso para las tres condiciones de operación consideradas

INGRESOS	DISEÑO	ACTUAL	MEJORADA
Producción NH ₃ (TM/D)	24.5	18.0	24.3
Precio NH ₃ (\$/TM)	220.0	220.0	220.0
TOTAL INGRESOS (\$/D)	5390.0	3960.0	5346.0
MATERIA PRIMA			
Consumo NH ₃ (TM/D)	12.2	12.2	14.4
Costo NH ₃ (\$/TM)	220.0	220.0	220.0
INSUMOS			
Consumo agua (m ³ /D)	3995.0	3995.0	3630.0
Costo agua (\$/Mm ³)	15.0	15.0	15.0
Consumo electricidad (KW/D)	7.6	7.6	4.0
Costo electricidad (\$/MW)	21.0	21.0	21.0
Consumo vapor (TM/D)	51.1	52.5	39.6
Costo vapor (\$/TM)	3.0	3.0	3.0
TOTAL M.P. & INSUMOS (\$/D)	2897.4	2901.6	3341.3
RENTABILIDAD (\$/D)	2492.6	1058.4	2004.7

D: día

Para el proceso de captación de amoníaco evaluado, el *Break Even* se alcanza al cumplirse:

$$(\text{ProducciónPrecio})_{\text{NH}_3} = (\text{ConsumoCosto})_{\text{NH}_3} + \sum (\text{ConsumoCosto})_{\text{insumo}}$$

En la Tabla 12 se presentan las variaciones (%) que deben registrarse en los precios de NH₃ o en los costos de materias primas e insumos, para registrar el *Break Even* en cada escenario operativo del sistema de captación de las Plantas de Amoníaco

Tabla 12. Break Even en proceso de captación de gases de purga

	VARIACION (%)	
	Precio NH ₃	Costos Insumos
Escenario <i>DISEÑO</i>	92↓	86↑
Escenario <i>ACTUAL</i>	83↓	36↑
Escenario <i>CONDICIONES MEJORADAS</i>	92↓	60↑

En el escenario *ACTUAL*, no hay rentabilidad (alcance del *Break Even*) si el precio del amoníaco disminuye más de 83%, o el costo promedio de los insumos aumenta por encima del 36%, mientras que en el escenario de condiciones mejoradas la no rentabilidad se

alcanza con una disminución del precio del amoníaco del 92% o con un aumento del costo de los insumos del 60%. Lo que lo coloca como el escenario más factible tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de su análisis se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La representación del sistema de captación de gases de purga de las Plantas de Amoníaco, en el simulador comercial es aceptable, aunque existen desviaciones considerables con respecto a los valores de diseño, sobre todo en lo referente a la temperatura, los valores de la simulación fueron corroborados en planta.
- Los resultados obtenidos del simulador permiten detectar ciertas consideraciones erróneas para el diseño de la sección de captación de gases de las Plantas de Amoníaco. Entre estas consideraciones se encuentra el uso del intercambiador de calor E-17, las especificaciones operativas del intercambiador de calor E-18, la temperatura de equilibrio amoníaco-agua en el tope de la torre T-7 y la eficiencia de absorción de amoníaco de la torre T-6.

- Existe gran cantidad de valores de control en las variables operativas, sugeridos en las especificaciones de diseño, que aproximan la producción del sistema de captación de gases a su punto óptimo. Existen algunas variables, como la inyección de amoníaco líquido y la vaporización en el rehervidor (ambos en la torre T-7), para las cuales se sugieren nuevos valores de control que acercarán la producción de amoníaco aún más a su máximo.
- Bajo el impacto económico que se determina a los escenarios de operación del sistema de captación de gases de las Plantas de Amoníaco, el escenario de diseño ofrece el mejor rendimiento económico. Sin embargo, al considerar las deficiencias en algunas especificaciones de diseño, el escenario mejorado se transforma en la propuesta más viable técnica y económicamente.
- El sistema de captación de gases de purga es un área operativa que ofrece beneficios económicos agregados para las Plantas de Amoníaco. Los niveles de rentabilidad para cada uno de los escenarios operativos planteados evidencian una solidez económica que solamente puede ser cuestionada si los precios del amoníaco se “desploman” más de 80% o los costos de los insumos se incrementan por encima del 35%.

REFERENCIAS

- [1] PETROQUIMICA DE VENEZUELA S.A. COMPLEJO ZULIA, “Descripción General Plantas de Amoníaco”, Pequiven Zulia, El Tablazo-Venezuela, 1986.
- [2] ASPEN Technology Inc., “Aspen Plus User Guide”, Aspen Technology, Cambridge-USA, 1988.
- [3] Pérez, S.; Niño, Z. y Llobregat, M. (2004) Desarrollo de un Programa de Simulación de Procesos para el Tratamiento de emisiones Atmosféricas Información Tecnológica. – Vol. 15 # 2-. Pp. 55-62.
- [4] Botte, G., Rattes, C., “Simulación de las secciones de Síntesis y Refrigeración de la Planta de Amoníaco del Complejo Petroquímico Morón”. Tesis de grado no publicada, Universidad de Carabobo, Valencia-Venezuela, 1993.
- [5] INTEVEP, “Simulación Plantas de Amoníaco Complejo Petroquímico Zulia (S.A.E.T.A.)”, Intevep, Los Teques-Venezuela, 1985.
- [6] INTEVEP, “Simulación Area de Lavado de Plantas de Amoníaco Complejo Petroquímico Zulia”, Pequiven Zulia, El Tablazo-Venezuela, 1994.