

# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO  
Ingeniería química



Luis Antonio Gallardo Blanco  
Bélana Kirschstein  
Daniel Matamoros Nicolás  
Marta Riera Flores  
Jie Zhang

**TUTOR**  
Oscar Guerrero Sodric



IsoNova

# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO  
Ingeniería química



**CAPÍTULO 12:  
AMPLIACIONES  
Y MEJORAS**





## Índice

<b>12.1 Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>12.2 Ampliaciones y mejoras.....</b>	<b>6</b>
12.2.1 Tratamiento de gases no absorbidos.....	6
12.2.2 Recuperación de glicerol.....	7
12.2.3 Aprovechamiento del calor residual del reactor.....	8
12.2.4 Caldera de biomasa con pellets.....	8
12.2.5 Alternativas al fosgeno.....	8
12.2.6 Separación CO2 en corriente de recirculación.....	11
<b>12.3 Bibliografía.....</b>	<b>13</b>

## 12.1 Introducción

El fosgeno es reconocido en diversos procesos industriales y se ha convertido en un componente clave en la cadena de producción moderna donde se espera que el mercado del fosgeno experimente un crecimiento del mercado a una tasa del 7,0% en el período de pronóstico de 2021 a 2028. No obstante, su fabricación también enfrenta retos importantes, como la fluctuación en los precios de las materias primas, las rigurosas normativas ambientales y la necesidad continua de avances tecnológicos.

Como ingenieros, la innovación y la mejora continua es el trabajo constante de creación de nuevos procesos y tecnologías. En esta sección de ampliaciones y mejoras, se presentan las iniciativas pensadas para optimizar el proceso de producción de fosgeno, así como aumentar su eficiencia, reducir costes y minimizar el impacto ambiental y ampliar el proceso con ideas para ello.

## 12.2 Ampliaciones y mejoras

### 12.2.1 Tratamiento de gases no absorbidos

En el proceso actual, se utiliza un scrubber con glicerol al final de dicho proceso para absorber los gases residuales que salen del condensador. También, se supone que del scrubber sale CO puro para poder recircular hacia materias primas del proceso de producción para optimizar su eficiencia. No obstante, como ampliación para la planta, se considera realizar un tratamiento de gases con un scrubber alcalino para tratar los gases que no hayan sido absorbidos en el primer scrubber.

Con eso, lo que se consigue es hacer la absorción de CO<sub>2</sub> introduciendo una solución básica en la que se haría con aminas. Estas aminas tienen la capacidad de reaccionar y capturar el CO<sub>2</sub> presente en el flujo de gases, haciendo así que no contamine el proceso ni genere emisiones no deseadas.

Como valor añadido, se utiliza la misma solución básica del scrubber para la limpieza del proceso de producción de la planta IsoNova, reduciendo costes y mejorando la sostenibilidad global del proceso.

### 12.2.2 Recuperación de glicerol

En el scrubber, el glicerol actúa como absorbente para remover los contaminantes presentes en los gases no condensables. Con el paso del tiempo y durante el proceso de absorción, el glicerol se satura de impurezas y compuestos reaccionados, así pues, la recuperación del glicerol reduciría el consumo ya que, al recuperarlo, se reduce la necesidad de adquirir continuamente material externo cosa que beneficia a la rentabilidad de la planta, ya que se necesita 6500 L/h de glicerol en el scrubber. De igual manera, se minimiza el impacto ambiental mediante la regeneración del material y evita la eliminación de los grandes volúmenes de líquido contaminado reduciendo el riesgo de liberación de compuestos tóxicos, así pues, garantizamos una mayor eficiencia en la absorción de contaminantes.

La ampliación del proceso constaría de tres partes:

1. **Recuperación del glicerol saturado:** El glicerol usado en el scrubber, cargado de contaminantes, se recogerá en un tanque de separación. Aquí se elimina la mayor parte de los sólidos y partículas mediante una filtración, y se ajustan parámetros básicos, como pH y temperatura.
2. **Regeneración del glicerol:** El glicerol pretratado se somete a una destilación en vacío, donde se calienta el glicerol pero reduciendo las temperaturas de ebullición para proteger el glicerol. Al calentar la mezcla, se aprovechan las diferencias en los puntos de ebullición, donde los gases como CO, CO<sub>2</sub> y Cl<sub>2</sub> tienen puntos de ebullición muy inferiores al del glicerol, permitiendo así que estos compuestos se evaporen y se separen del glicerol fácilmente.
3. **Recirculación:** Una vez limpio, el glicerol se almacena y se reintroduce en el scrubber. Se controla continuamente su calidad para asegurar que el proceso de absorción se mantenga eficiente.

### 12.2.3 Aprovechamiento del calor residual del reactor

Otra mejora consiste en aprovechar el exceso de agua caliente del reactor mediante un sistema de intercambio de calor, en lugar de enviarla directamente a las torres de refrigeración. Así, se optimiza el aprovechamiento de la energía térmica y se reduce el consumo energético global de la planta. El proceso se desarrollaría captando el agua caliente que sale del reactor y, envés de enviarla hacia el servicio de refrigeración, en el intercambiador de calor, el agua caliente cederá su energía térmica a otra corriente de proceso que requiere calentamiento como por ejemplo, la alimentación del evaporador o el mixer. Esto permite utilizar la energía recuperada para mejorar la eficiencia del proceso, reduciendo la carga térmica y, por tanto, la necesidad de refrigeración adicional.

### 12.2.4 Caldera de biomasa con pellets

La idea es sustituir el gas natural por pellets de biomasa, que son pequeños cilindros comprimidos a partir de residuos orgánicos o madera. Los pellets se almacenarán en un depósito y se dosificarán de forma automática para alimentar la caldera. Dentro de ella, los pellets se queman para generar calor. La combustión de estos pellets libera energía de manera controlada.

Este sistema con pellets ofrece una fuente de energía renovable y reduce las emisiones contaminantes en comparación con el uso de combustibles fósiles.

### 12.2.5 Alternativas al fosgeno

El producto producido en IsoNova, es el fosgeno, una sustancia tóxica. El objetivo final de este fosgeno es la producción de MDI. En este apartado se explican algunos procesos de cómo se podría obtener el MDI sin usar una sustancia tan peligrosa como es el fosgeno.

Hay varias alternativas que se han estudiado en los últimos años.<sup>[3]</sup> Algunos de estos son los siguientes:

- Reacción de MDA con carbonato de dimetilo para formar MDI y metanol.
- Reacción de MDA con oxígeno, monóxido de carbono y metanol para formar MDI, metanol y agua.
- Reacción de MDA con urea y 3-metil-1-butanol para formar MDI, 3-metil-1-butanol y amoniaco.
- Reacción de MDA con carbonato de dibutilo para formar MDY y butanol.
- Reacción de MDA con carbonato de difenilo para formar MDI y fenol.
- Reacción de MDA con CO<sub>2</sub> para formar MDI.

A simple vista podría parecer más favorable usar CO<sub>2</sub> para la producción de MDI, ya que el CO<sub>2</sub> es un subproducto muy frecuente de diferentes procesos industriales.

Este método de obtención de MDI consiste en diferentes etapas:

1. Reformado del CO<sub>2</sub> metano para producir Syngas, una mezcla de CO/H<sub>2</sub>.
2. Separación de CO mediante una hidrogenación de nitrobenceno y síntesis de anilina.
3. Condensación de anilina formaldehído para formar MDA.
4. Síntesis de MDC por una carbonilación oxidativa.
5. Descomposición térmica de MDC a MDI.

Las reacciones que intervienen en este proceso y las etapas mencionadas se muestran en la siguiente *Figura 12.1*:

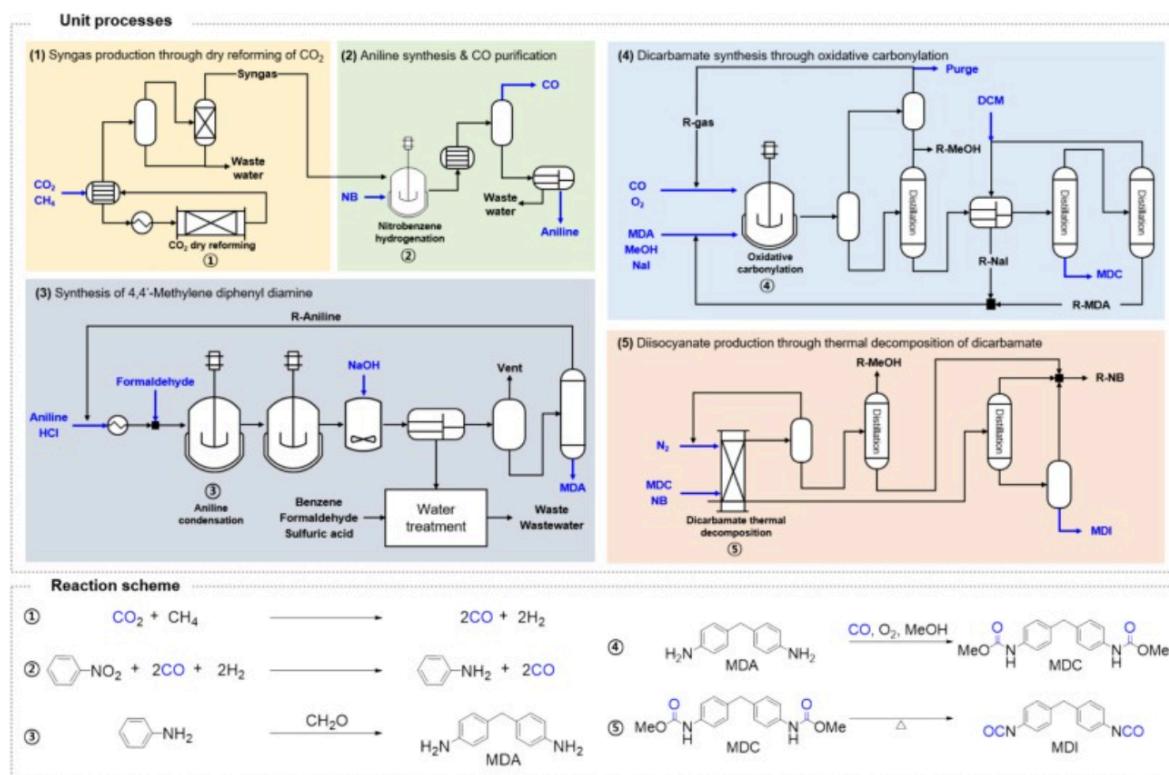


Figura 12.1: Proceso y reacciones de producción de MDI a partir de  $\text{CO}_2$  y MDA.<sup>[2]</sup>

Este proceso tiene sus inconvenientes, como por ejemplo que necesita mucha energía debido a que el  $\text{CO}_2$  es muy estable. Además intervienen sustancias que también son tóxicas como son la anilina o el formaldehído.<sup>[2]</sup>

Otro ejemplo de proceso sin uso del fosgeno es la producción de MDI a partir de urea y 3-metil-1-butanol, mostrado en la Figura 12.2.

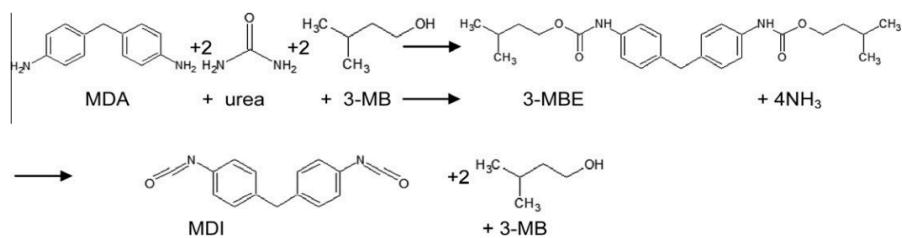
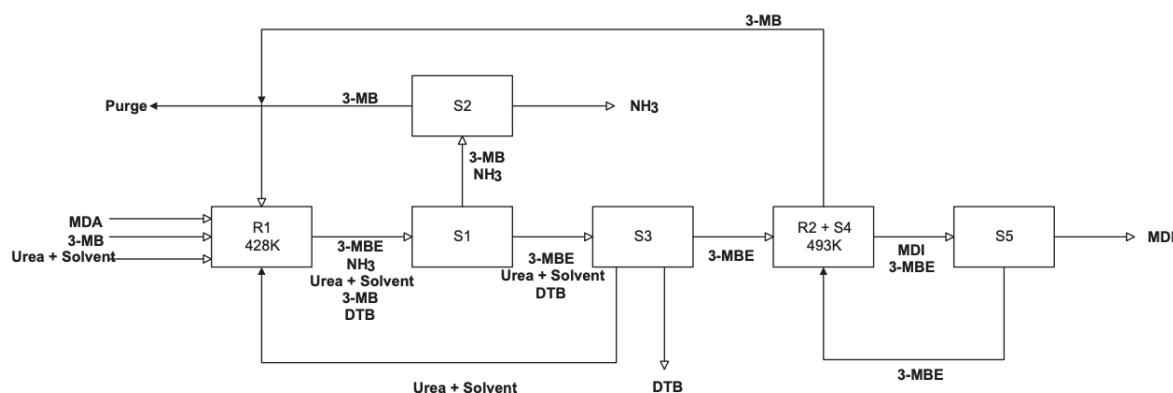


Figura 12.2: Reacciones que intervienen en la formación de MDI a partir de MDA, urea y 3-metil-1-butanol<sup>[3]</sup>

Las materias primas son MDA, 3-metil-1-butanol y urea en dimetilformamida. Estas sustancias reaccionan de forma exotérmica en un reactor de tipo gas-líquido formando 3-MBE, y un subproducto de 2,4-di-tert-butilfenol (DTB). La mayoría del  $\text{NH}_3$  y 3-metil-1-butanol presente en la corriente de salida del primer reactor son separados por evaporación y la urea con el disolvente son recirculados. La segunda reacción es endotérmica y en fase líquida, obteniendo MDI. El diagrama correspondiente a este proceso se observa en la *Figura 12.3*.



**Figura 12.3:** Proceso de producción de MDI a partir de MDA y urea y 3-metil-1-butanol [3]

## 12.2.6 Separación $\text{CO}_2$ en corriente de recirculación

Actualmente, en la planta de producción de fosgeno hay un sistema de purga que regula la emisión controlada de los gases inertes que se generan durante la producción del mismo.

Este sistema actualmente es muy rudimentario por lo que una mejora del proceso sería el implementar una absorción del  $\text{CO}_2$  después del condensador. Esto puede disminuir el envenenamiento del catalizador empleado en el reactor, mejorar la pureza del fosgeno que se utilizará para formar el MDI y haciendo más eficiente la utilización del espacio en la recirculación, mixer, reactor, condensador y scrubber.

Para ello se debería añadir una torre de absorción para tratar la corriente que contiene la mezcla de gases no condensados del área 500. Dicha torre funcionaría mediante la implementación de un corriente líquido de hidróxido de sodio, puesto

---

que al contacto con el CO<sub>2</sub> se forma Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>[5]</sup> y agua, lo que disminuiría también la emisión de gases en la atmósfera.

Pero para poder seguir recirculando correctamente en el sistema se deberá controlar la cantidad de humedad que el gas pueda arrastrar. Para ello, además de la torre de absorción, se deberá añadir un equipo que deshumidifique la mezcla gaseosa antes del Scrubber, evitando de esta manera la reacción del fosgeno con el agua si esta llega al reactor.

## 12.3 Bibliografía

[1] Data Bridge Market Research. (2021). *Mercado mundial de fosgeno: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2028.*

[https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-phosgene-market?srslt\\_id=AfmBOor\\_ES6eNVQZVnW\\_8ti8NGH4PQqtB7QGRcegzxvUSWkfcJkxXPg](https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-phosgene-market?srslt_id=AfmBOor_ES6eNVQZVnW_8ti8NGH4PQqtB7QGRcegzxvUSWkfcJkxXPg)

[2] van den Berg, H., van der Ham, L., Samuel Odu, H.G, Roelofs, T., de Weerdt, J. (12, julio, 2012) “*Phosgene free route to Methyl Diphenyl Diisocynate (MDI): A technical economic evaluation*” Chemical Engineering Journal, Elsevier B.V

<https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6807496/Berg12phosgene.pdf>

[3] Lim Ae, J., You, Y., Kwon Kang, S. Rho, J., Yeo, S. Han, S., Im, H., Kim, U. Kim, M. Chang, T. Park, J., An j., Lee, J. (10, junio, 2024) “*Green process for Polyurethane: From CO<sub>2</sub> to isocyanate*” Chemical Engineering Journal, Elsevier B.V

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894724044991>

[4] Andreotti Impianti. (s.f.). *Destilación de la Glicerina*. Recuperado de <https://www.andreottimpanti.com/es/tecnologia/tecnologia/destilacion-de-la-glicerina>

[5] Environmental Protection Agency. (s.f.). *Hoja de Datos de Tecnología de Contaminación del Aire: Depurador con Lecho Empacado/Torre Empacada*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttncatc1/dir1/fpackeds.pdf>