



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA**

**TEMA : “ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO  
POR MÉTODOS DE CONTACTO”**

---

**AUTOR: BAHAMONDE RIVERA, DIEGO FERNANDO**

**DIRECTOR: RODRÍGUEZ MAECKER, ROMÁN NICOLAY, PhD.**



Contenido:

---

- **INTRODUCCIÓN**
- **OBJETIVOS**
- **METODOLOGÍA**
- **RESULTADOS**
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# INTRODUCCIÓN

---



## Historia

Johann Glauber  
Joshua Ward  
Peregrine Phillips



## Emisiones

Necesidad de  
alta conversión  
de materia  
prima



## Disponibilidad de materia prima

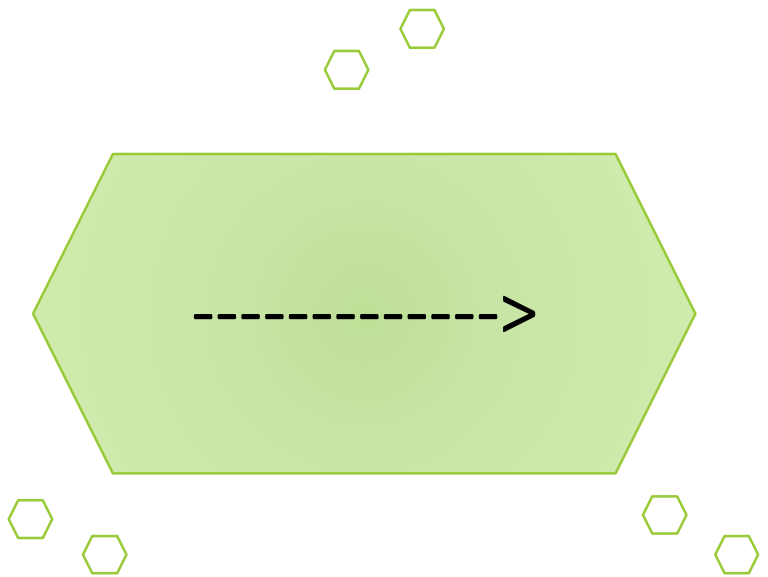
Minerales  
Remoción en  
combustibles  
Refinación de  
petróleo

# INTRODUCCIÓN

---



Industrias  
conexas



Ecuador



## Contenido:

---

- INTRODUCCIÓN
- **OBJETIVOS**
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# OBJETIVOS

---

Realizar un estudio del aprovechamiento energético de las corrientes calientes del proceso mediante el número óptimo de intercambiadores de calor.

Validar los resultados obtenidos de concentración de ácido sulfúrico en la simulación mediante el software estacionario Pro II, en relación a concentraciones reportadas en trabajos científicos existentes.

**Realizar la simulación en Pro II del proceso de obtención de ácido sulfúrico por contacto para evaluar la viabilidad del software estacionario en operaciones con azufre y sus compuestos derivados.**

Evaluar la desviación de resultados de la simulación en comparación a trabajos científicos existentes que utilicen otro software estacionario diferente a Pro II.

Comparar los resultados obtenidos de la simulación del proceso con los resultados de métodos convencionales a escala industrial, para validar que la simulación modular secuencial se encuentre apegada aceptablemente a los datos de condiciones de operación provenientes de bibliografía.



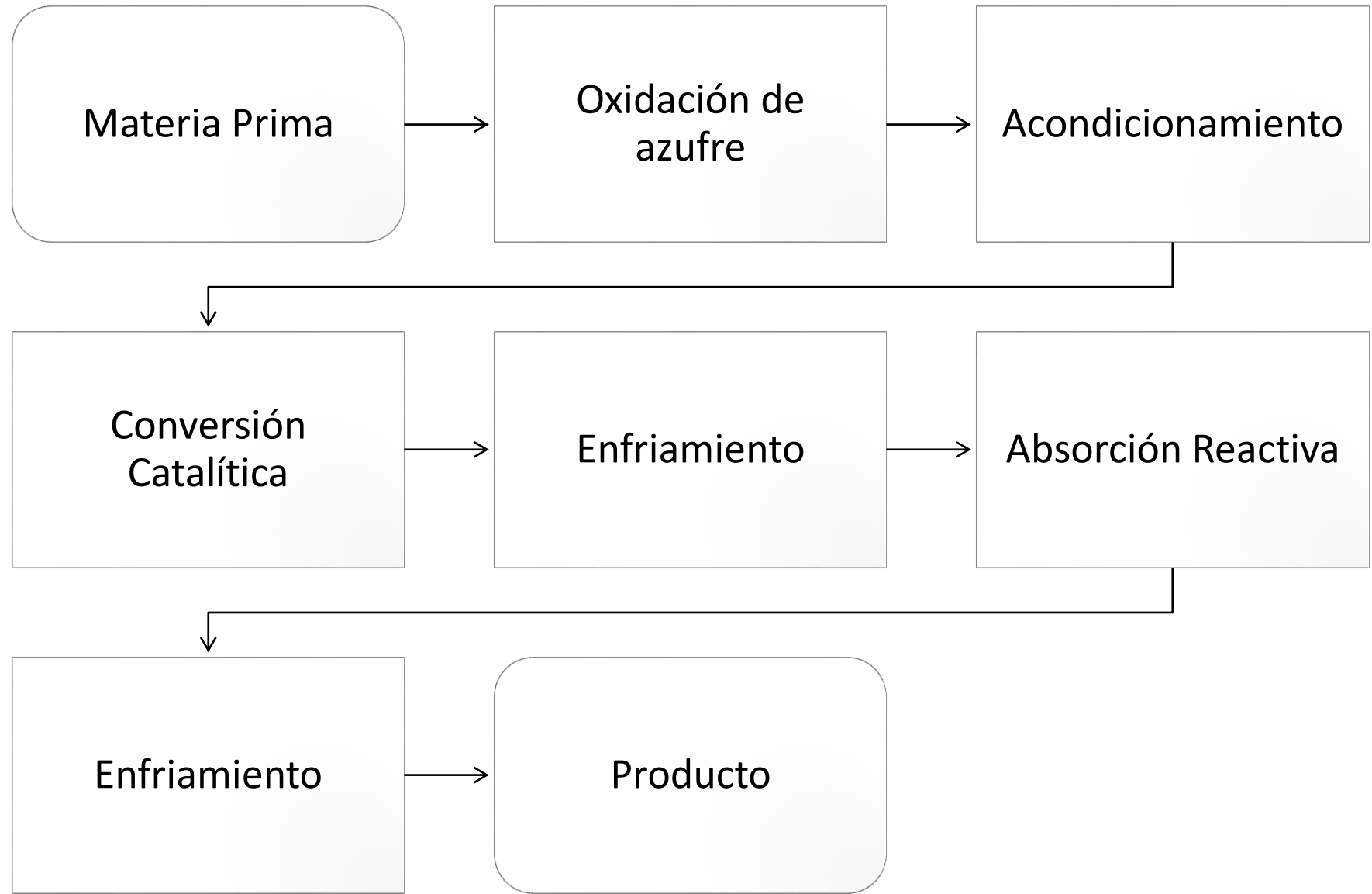
## Contenido:

---

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS
- **METODOLOGÍA**
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**Figura 1.**

*Diagrama de flujo del proceso general de obtención de ácido sulfúrico por medio de métodos de contacto*





# PRINCIPALES ETAPAS DE PRODUCCIÓN

---

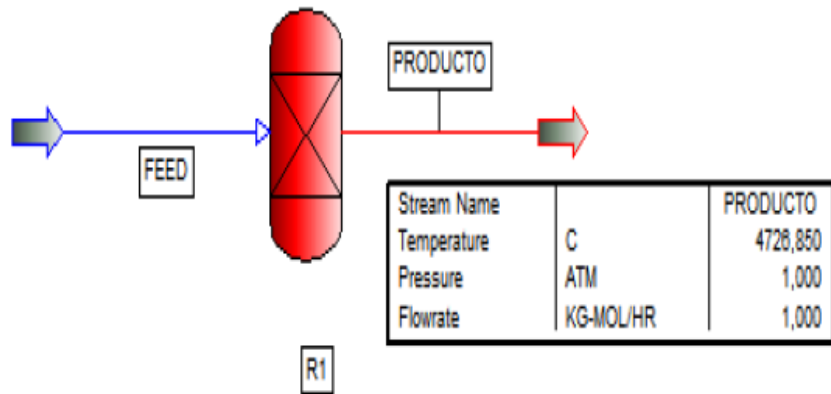
## Combustión de azufre

La corriente de azufre líquida es llevada junto con aire a un horno de combustión, donde el azufre reacciona con el oxígeno contenido en el aire bajo la siguiente estequiometría:

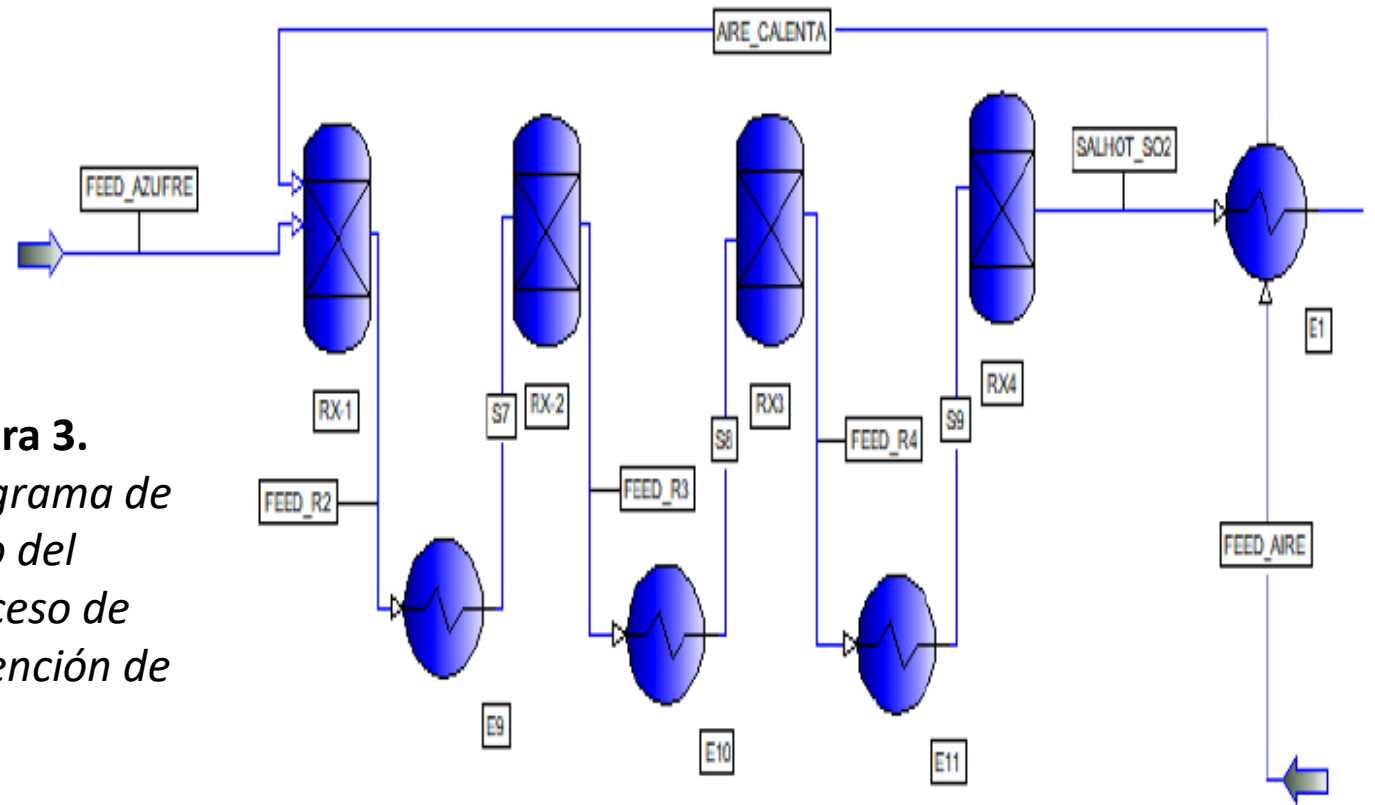


Se hace reaccionar el azufre con el aire proveniente de una corriente acondicionada a 100 °C, para producir SO<sub>2</sub> en un rango de temperaturas de 250 a 700 °C debido a que como menciona Ortuño (2012) cerca de los 415 °C el azufre pierde humedad y alcanza su punto de ignición.

# Combustión de azufre



**Figura 2.**  
*Ensayo de obtención de la temperatura de reacción adiabática para conversión completa*



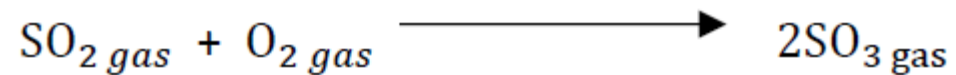
**Figura 3.**  
*Diagrama de flujo del proceso de obtención de SO<sub>2</sub>*

# PRINCIPALES ETAPAS DE PRODUCCIÓN

---

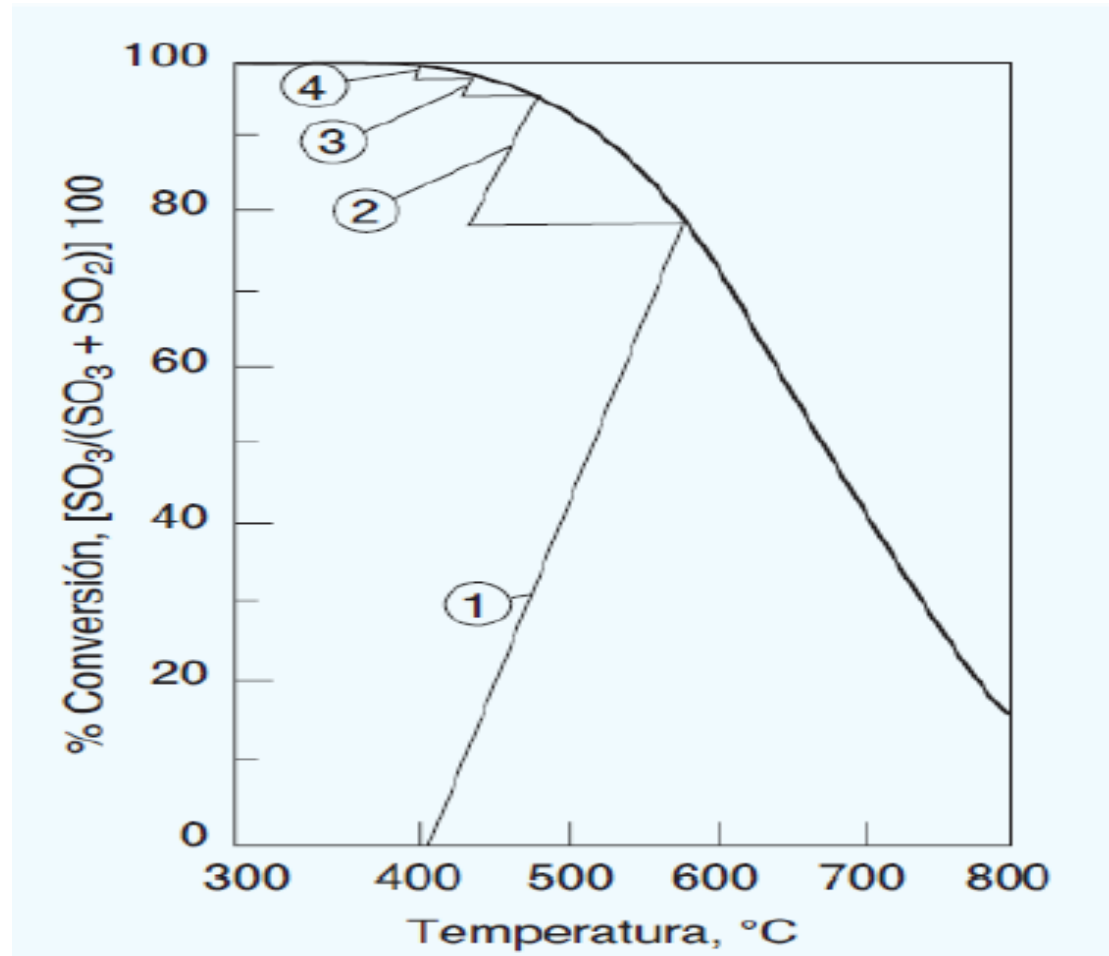
## Oxidación catalítica de $SO_2$

El gas producido en la etapa de combustión es acondicionado para ser llevado al reactor, en un lecho catalítico de 4 etapas en presencia de pentóxido de vanadio como catalizador, se produce la reacción de  $SO_2$  y oxígeno:



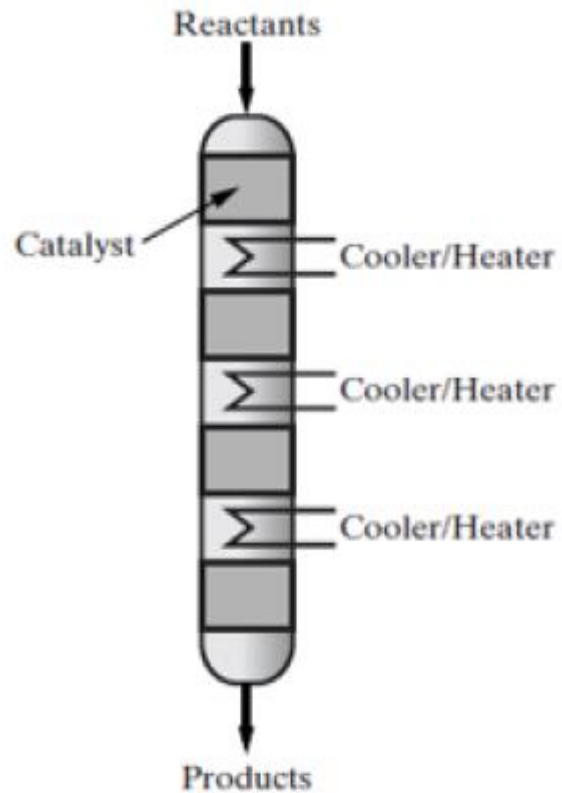
Debido a que los catalizadores de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> exigen temperaturas sobre los 400 °C, la conversión pasa a ser una función de la temperatura para lo que Ortuño (2012) propone que la transformación fuera isotérmica logrando eliminar el calor desprendido durante la oxidación, lo que no representa la practica industrial y por lo que menciona se opera en un régimen aproximado al adiabático en varias etapas.

**Figura 4.**  
*Influencia de la temperatura en el equilibrio de conversión del SO<sub>2</sub> (Ortuño, 2012).*

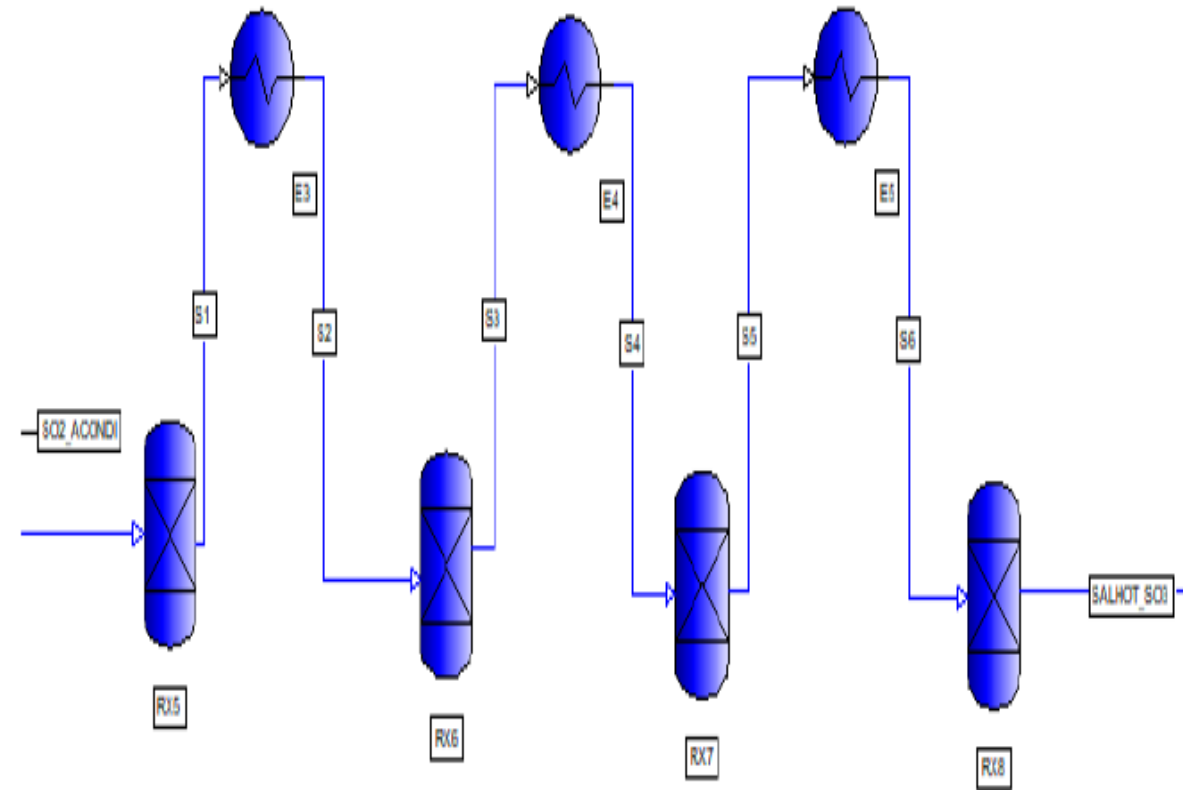


# Oxidación catalítica de $SO_2$

**Figura 5.**  
*Lecho catalítico enfriado por etapas (Seider, 2009).*



**Figura 6.**  
*Diagrama de bloques de la etapa de obtención de  $SO_3$*



# PRINCIPALES ETAPAS DE PRODUCCIÓN

---

## Absorción de $SO_3$ con $H_2SO_4$

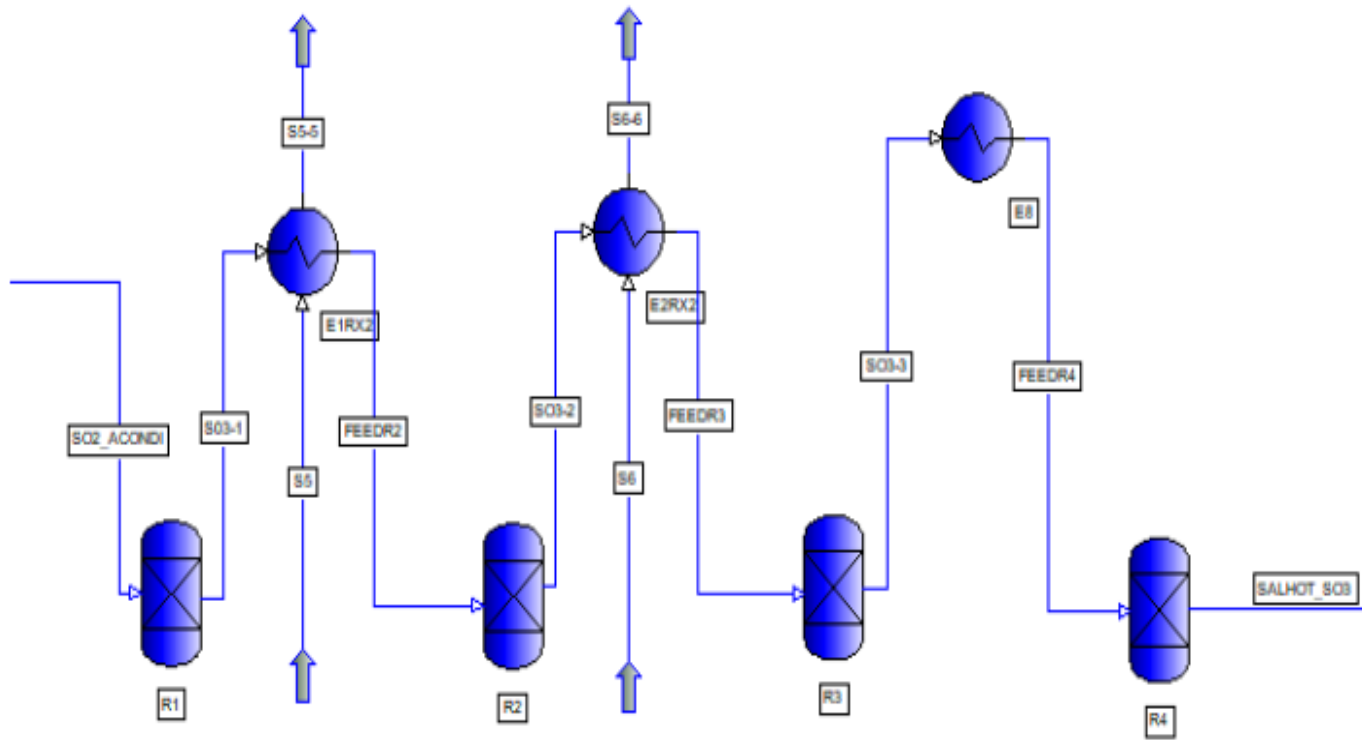
Se absorbe con ácido sulfúrico al 98% el gas de salida del lecho catalítico mediante un mecanismo torre reactiva, donde tiene lugar la siguiente reacción:



Una corriente de ácido sulfúrico concentrado que ingresa a la torre de absorción junto con 1146,250 kg/h de gas proveniente de la etapa de obtención de  $SO_3$  forman las corrientes de alimentación de la etapa de obtención de ácido sulfúrico comercial.

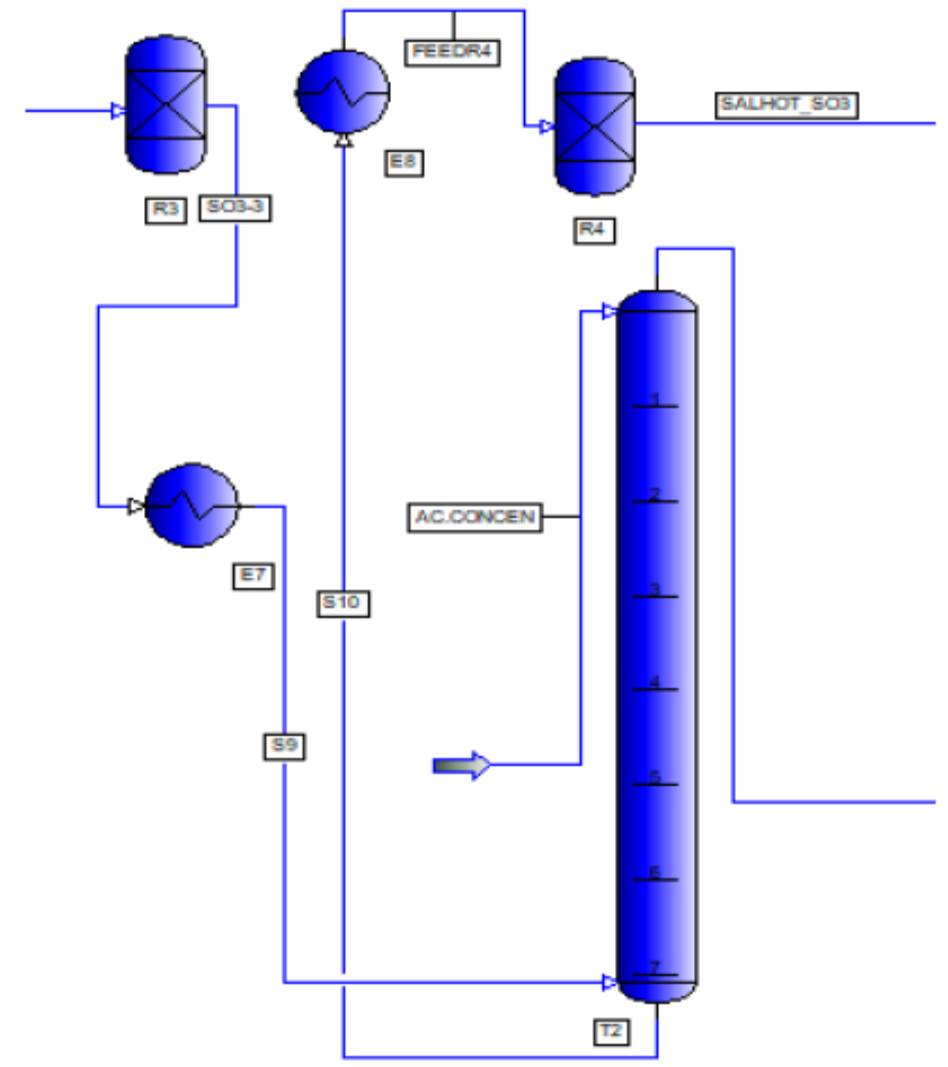
**Figura 7.**

*Tren de reactores  
etapa catalítica en  
el método de  
simple contacto*



**Figura 8.**

*Etapa  
catalítica para  
el método de  
doble contacto*





## Contenido:

---

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- **RESULTADOS**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# RESULTADOS (Conversión de S a SO<sub>2</sub>)

---

## Obtención de SO<sub>2</sub>

Como flujo de corriente de alimentación del proceso se tiene 136,25 kg/h de S, se producen 256,26 kg/h de SO<sub>2</sub> con el consumo de 128 kg/h de O<sub>2</sub>, proveniente de una corriente de aire de 1010 kg/h en exceso que constituye un fundamento para generar conversiones aceptables y para desplazar la reacción de formación hacia la derecha.

**Tabla 1.**  
*Comparación del parámetro de conversión en la etapa de oxidación de azufre*

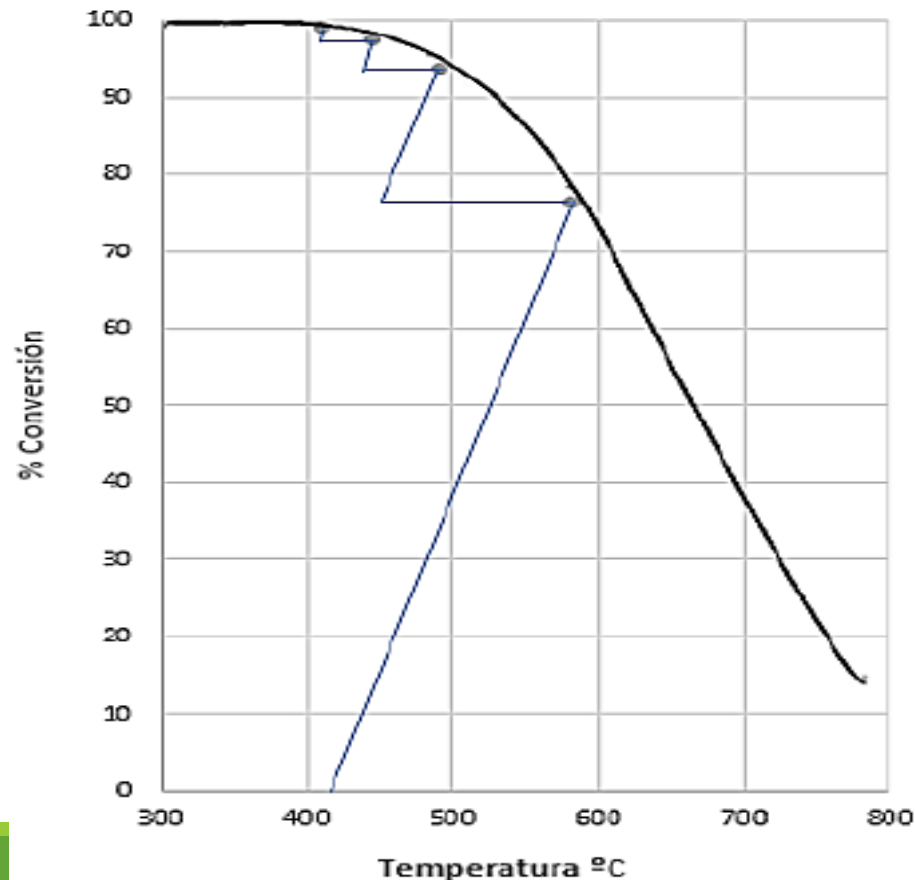
| <b>Variable</b>     | <b>Aspen Plus</b>              | <b>Pro II</b> |
|---------------------|--------------------------------|---------------|
|                     | <b>Fuente: (Riveros, 2015)</b> |               |
| <b>% Conversión</b> | 94,74                          | 94,14         |

# RESULTADOS

## Oxidación catalítica de SO<sub>2</sub>

Los datos obtenidos del equilibrio de conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> frente a la temperatura por medio del simulador Pro II son verificados al levantar un gráfico de temperatura vs porcentaje de conversión que otorga una tendencia de curva muy similar a la presentada en bibliografía Ortuño (2012) lo cual concluye que los cálculos y resultados entregados por el simulador son aceptables.

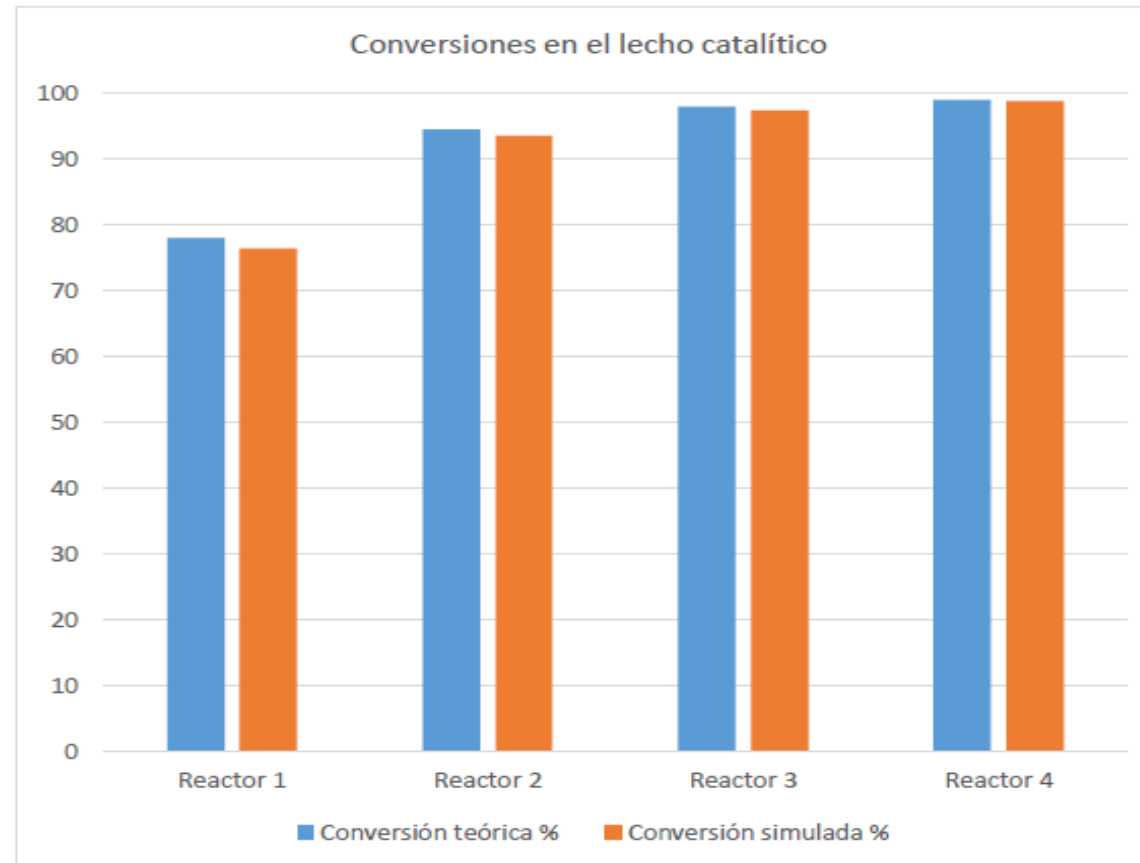
**Figura 9.**  
*Diagrama de conversión obtenida con datos de la simulación*



# RESULTADOS(Conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>)

## Oxidación catalítica de SO<sub>2</sub>

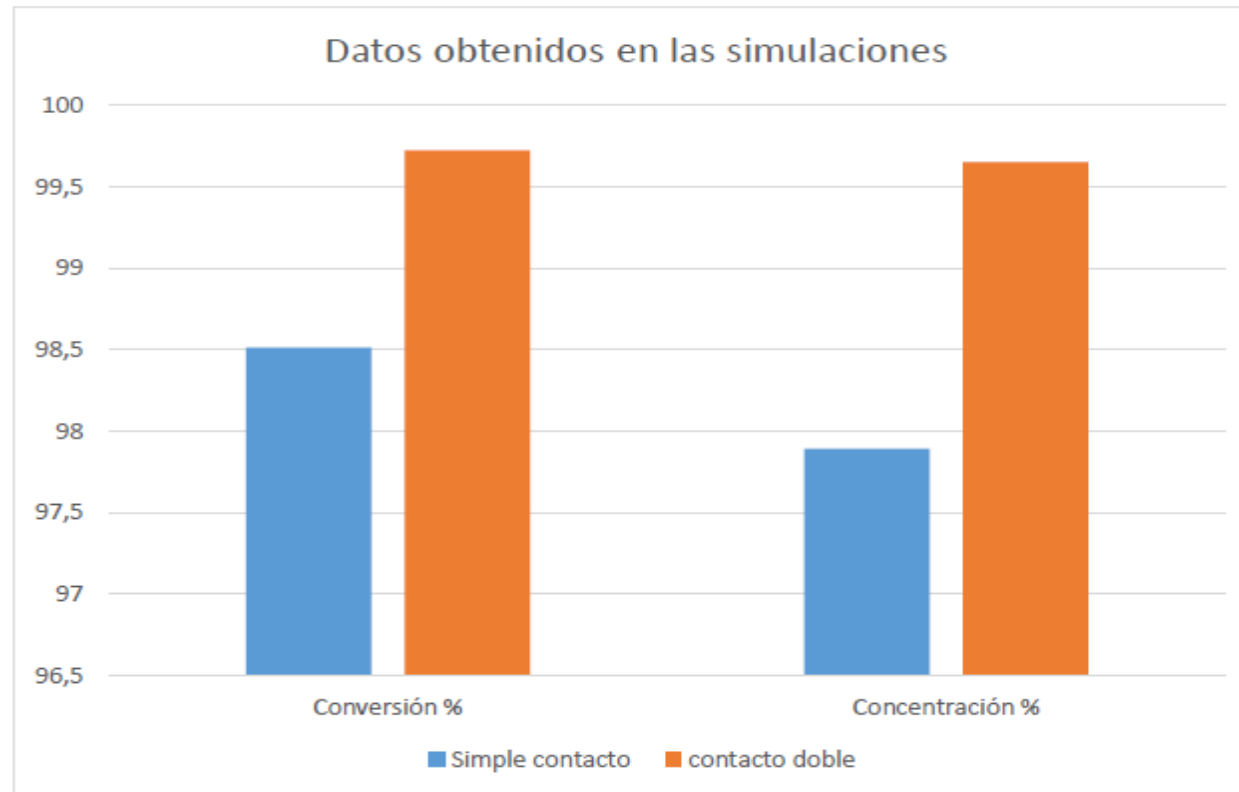
**Figura 10.**  
*Comparación de conversiones obtenidas en el simulador con valores de bibliografía*



# RESULTADOS

## Comparación de resultados de ácido sulfúrico entre métodos simulados

**Figura 11.**  
*Comparación de resultados entre métodos de simple y doble contacto*

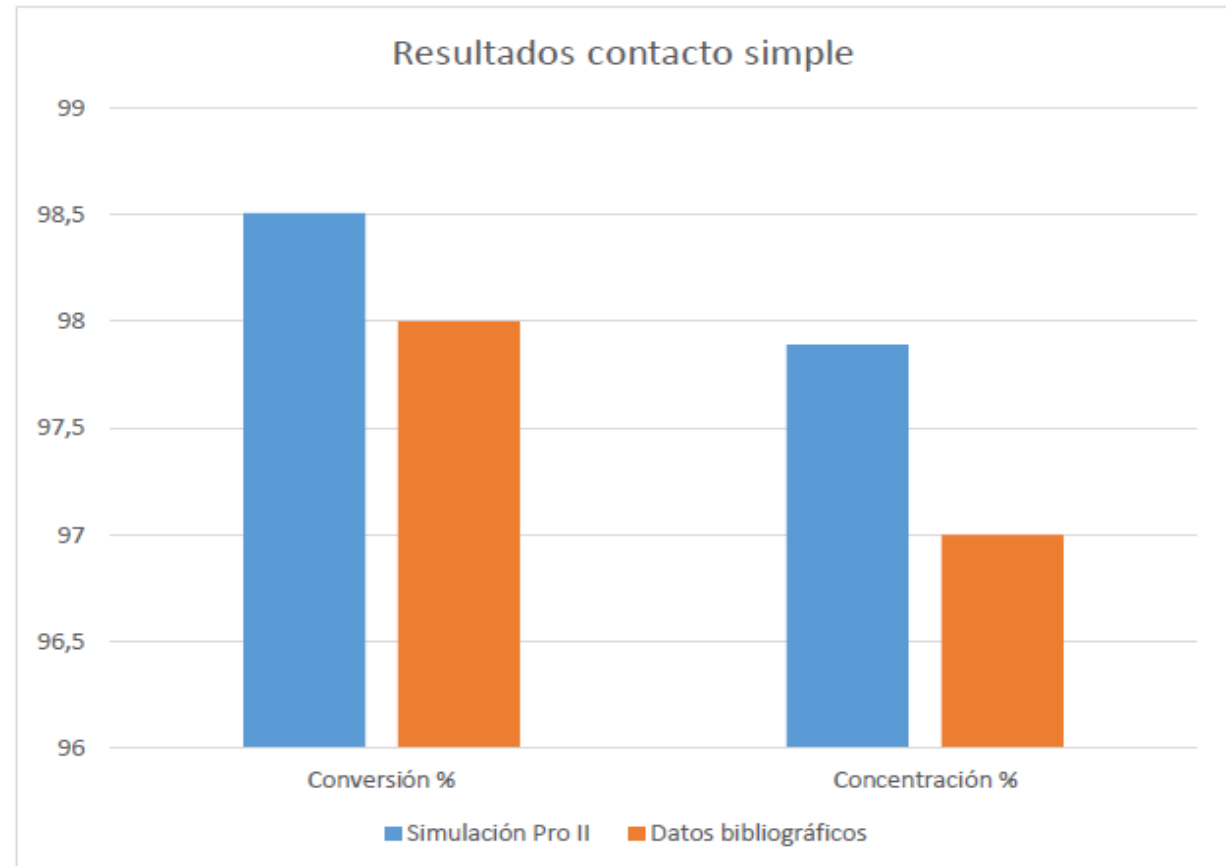


# RESULTADOS (Ácido sulfúrico Producto)

Método Simple contacto:

Comparación con datos bibliográficos

**Figura 12.**  
*Comparación de resultados obtenidos en la simulación con datos bibliográficos*

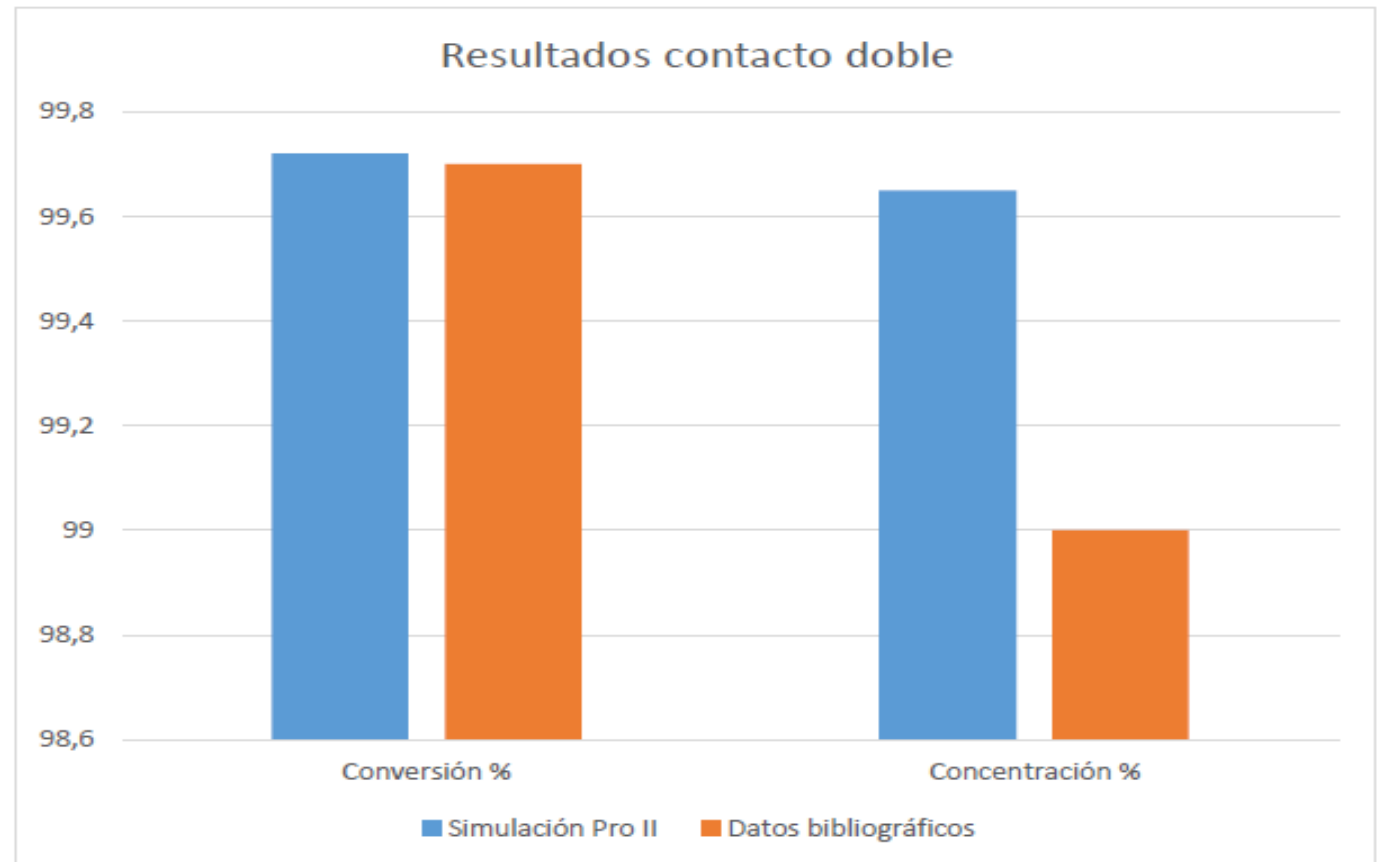


# RESULTADOS (Ácido sulfúrico Producto)

Método Doble contacto:

Comparación con datos bibliográficos

**Figura 13.**  
*Comparación de resultados obtenidos en la simulación con datos bibliográficos*





## Contenido:

---

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# CONCLUSIONES

- ❖ El esquema desarrollado en Pro II Process Engineering 10.2 para la simulación de los métodos de obtención de ácido sulfúrico por contacto simple y contacto doble contempla un proceso modular secuencial satisfactorio que cumple de manera correcta con los balances de materia y energía.
- ❖ El aprovechamiento energético fue inmiscuido en el estudio del manejo de unidades utilities conocidos como controladores y utilities de corriente pertenecientes a la herramienta que presentan los intercambiadores de calor que a partir de variables y restricciones se logra optimizar la cantidad mínima de fluidos de refrigeración a utilizar en el intercambio de energía que se produce entre corrientes del proceso.
- ❖ Mediante la obtención de resultados de conversión de gran similitud con los valores industriales reflejados en bibliografía en la etapa catalítica, se valida y verifica el correcto desarrollo que presenta el simulador con el ingreso de la función matemática del equilibrio químico de conversión, satisfaciendo así los requerimientos del catalizador de pentóxido de vanadio.
- ❖ La validación de las simulaciones se logra en cada etapa de los procesos con las comparaciones de los resultados de corrientes de salidas con datos investigados en bibliografía que presentaron desviaciones apegadas al cumplimiento de las necesidades y objetivos del proceso.
- ❖ La recuperación en el fluido de arrastre de cada una de las torres mantiene porcentajes elevados lo que concluye que una etapa de absorción intermedia presente en el método de doble contacto representa una mejora entre procesos, debido a que obtiene valores de conversión y concentración de ácido sulfúrico de características industriales que permiten competitividad en el comercio.



# RECOMENDACIONES

- ❖ Evaluar las simulaciones en cada una de sus etapas con el fin de lograr un control de los efectos que causa la variación de la alimentación, puesto que para esta investigación se tomó valores según la estequiometría de las reacciones del proceso y para futuras investigaciones se pueden tomar valores reales de materia prima o a su vez valores de diseño.
- ❖ Obtener la licencia de paquetes electrolíticos del software Pro II y realizar la tostación propiamente dicha como primera etapa de oxidación para realizar casos de estudio que permitan generar más posibilidades de diseño de plantas de producción de ácido sulfúrico acorde al tipo materia prima y su disponibilidad.
- ❖ Para investigaciones cuya finalidad sea desarrollar procesos industriales relacionados a la fabricación de ácido sulfúrico sustentables y dentro de una química verde, se recomienda tomar en cuenta las normativas internacionales y nacionales vigentes de una manera más rigurosa en relación a la que influyó a este trabajo.
- ❖ Se recomienda analizar y solucionar los problemas que se puedan presentar en cada etapa de manera individual, de tal forma que se logre una predicción de análisis de la planta en conjunto para así estudiar su desarrollo y capacidad operacional.
- ❖ Verificar el procedimiento teórico y manuales de procesos de la planta con el objetivo de generar una relación entre estas para que nuestro diseño de esquema de simulación tome un camino coherente y pueda ser validado.

GRACIAS

---