



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**



**Escuela de Ingeniería Química**



# **EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS DE GAS METANO MEDIANTE EL EMPLEO DE SIMULADORES COMERCIALES DE PROCESOS**

**Tutor: Francisco Yáñez**

**Presentado por: Br. Ángela Mujica**

**Co-Tutor: Leonardo Oropeza**

**Ciudad Universitaria de Caracas, Noviembre de 2010**



# CONTENIDO

Fundamentos de la Investigación

- ❖ Planteamiento del Problema
- ❖ Objetivos de la Investigación

Marco Teórico

- ❖ Hidratos de Gas
- ❖ Aseguramiento de Flujo
- ❖ Simuladores

Metodología

- ❖ Definición de los Hidratos
- ❖ Modelo de Reactor a Emplear
- ❖ Análisis de sensibilidad

Resultados y Discusión

Conclusiones

Recomendaciones

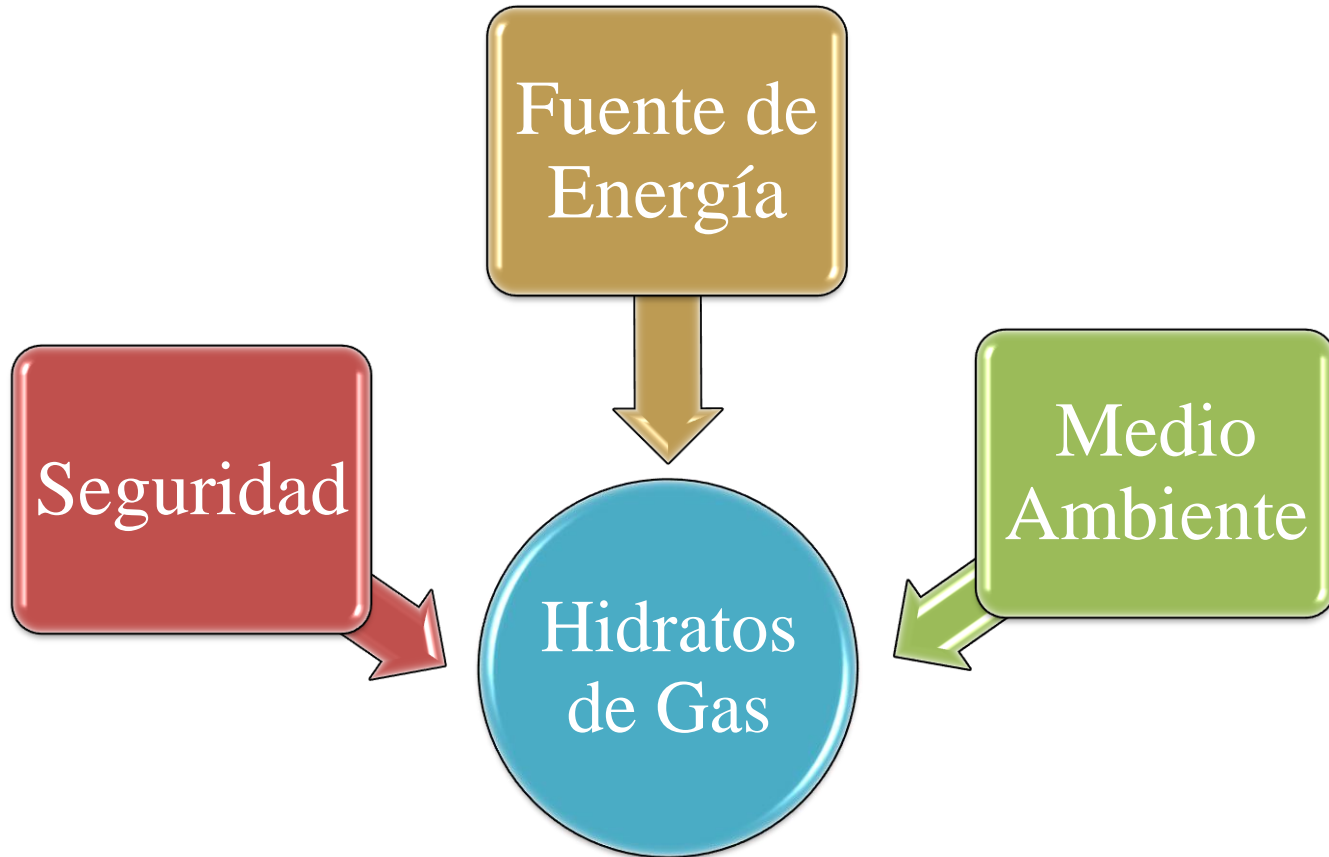


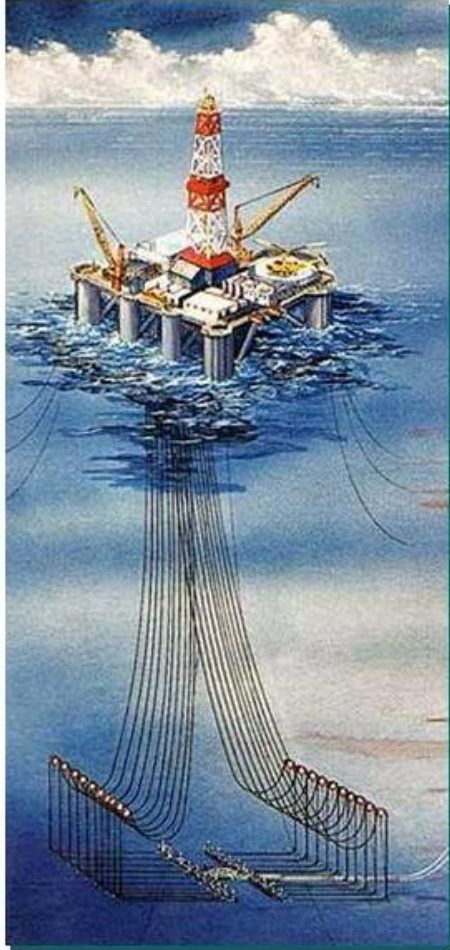
## *Planteamiento del Problema*

---

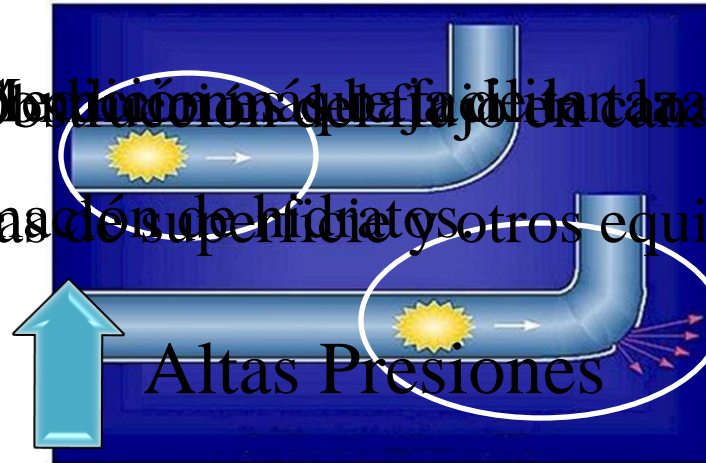


# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

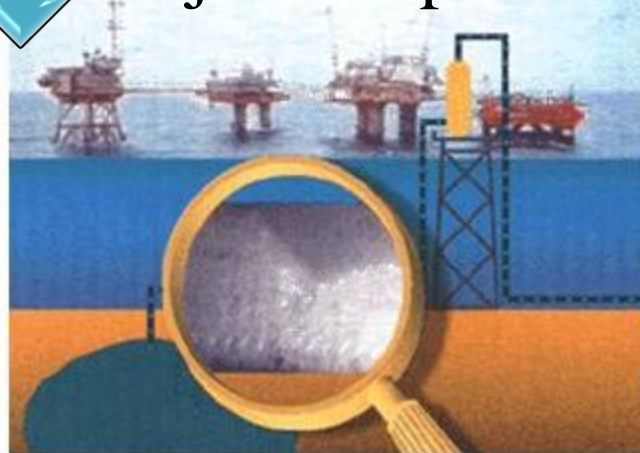




✓ Obtención más rápida de la energía, flujo  
formas de superficie y otros equipos.

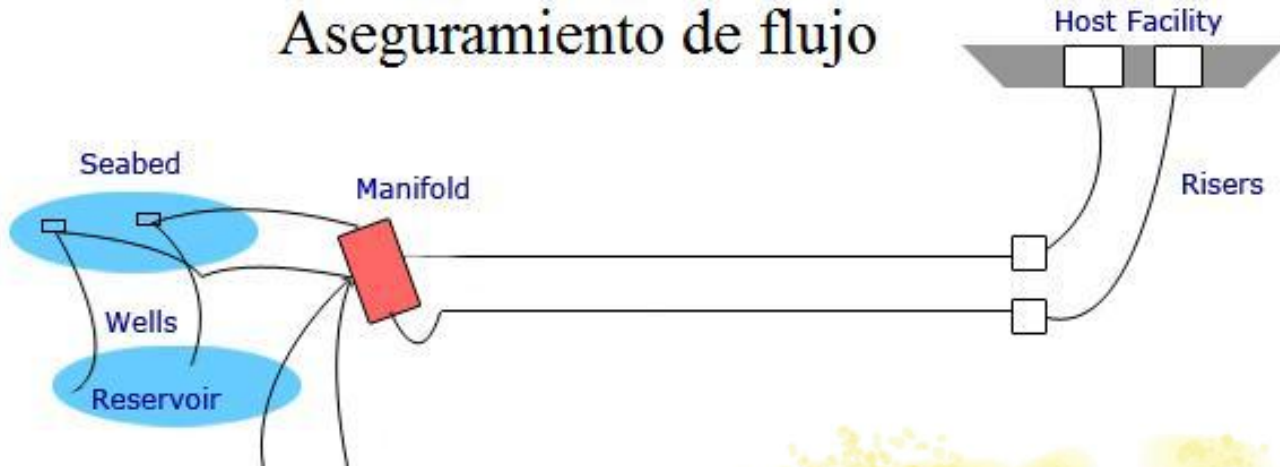


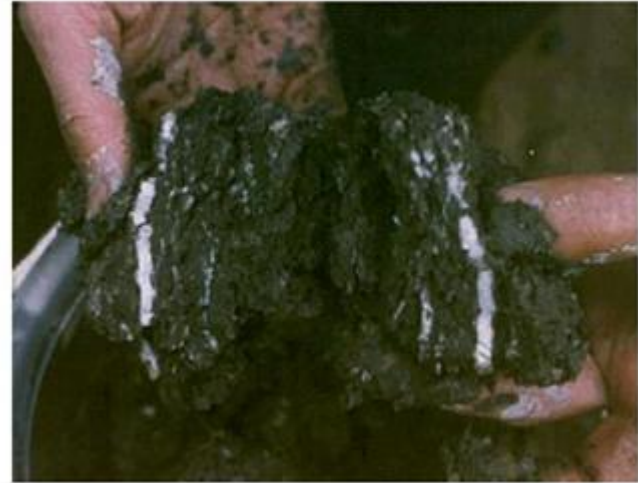
Bajas Temperaturas





## Aseguramiento de flujo





Fuente: Petrobras



## *Objetivos*

---



## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la Formación de Hidratos de Gas por cambio de fase en un sistema de tuberías, empleando simuladores comerciales.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Estudiar y comprender las bases teóricas que fundamentan el proceso de formación de los Hidratos de Gas.
- ✓ Estudiar la metodología de simulación de formación de hidratos de gas en tuberías de transporte.
- ✓ Establecer el modelo de reactor a emplear en la simulación para cada uno de los paquetes comerciales.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Evaluar la formación de hidratos de gas en tuberías de transporte, emulando una reacción química, mediante corridas de simulación con cada paquete comercial.
- ✓ Analizar la sensibilidad del proceso, con el objeto de identificar los parámetros donde una perturbación sobre las condiciones operacionales produce un cambio apreciable con respecto al proceso real.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Evaluar y valorizar las capacidades de los simuladores comerciales PROII, HYSYS y ASPEN PLUS para el proceso en estudio.
- ✓ Validar y evaluar la precisión de los modelos de simulación en relación a la representación del comportamiento real.

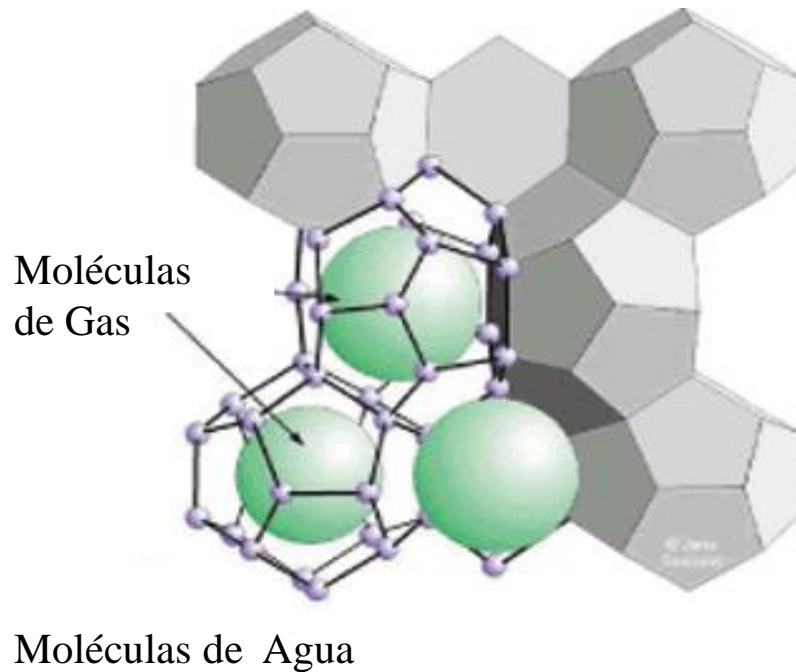


## *Marco Teórico*

---



# HIDRATOS DE GAS



↑ Altas Presiones

↓ Bajas Temperaturas

Metano, Etano, Propano, Butano

Dióxido de Carbono

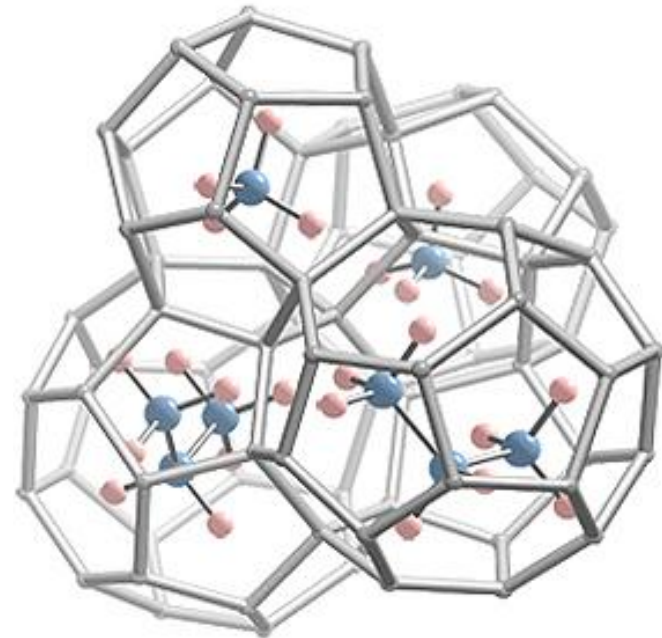
Sulfuro de Hidrogeno

*Fuente: Bohrmann and Torres, 2006*



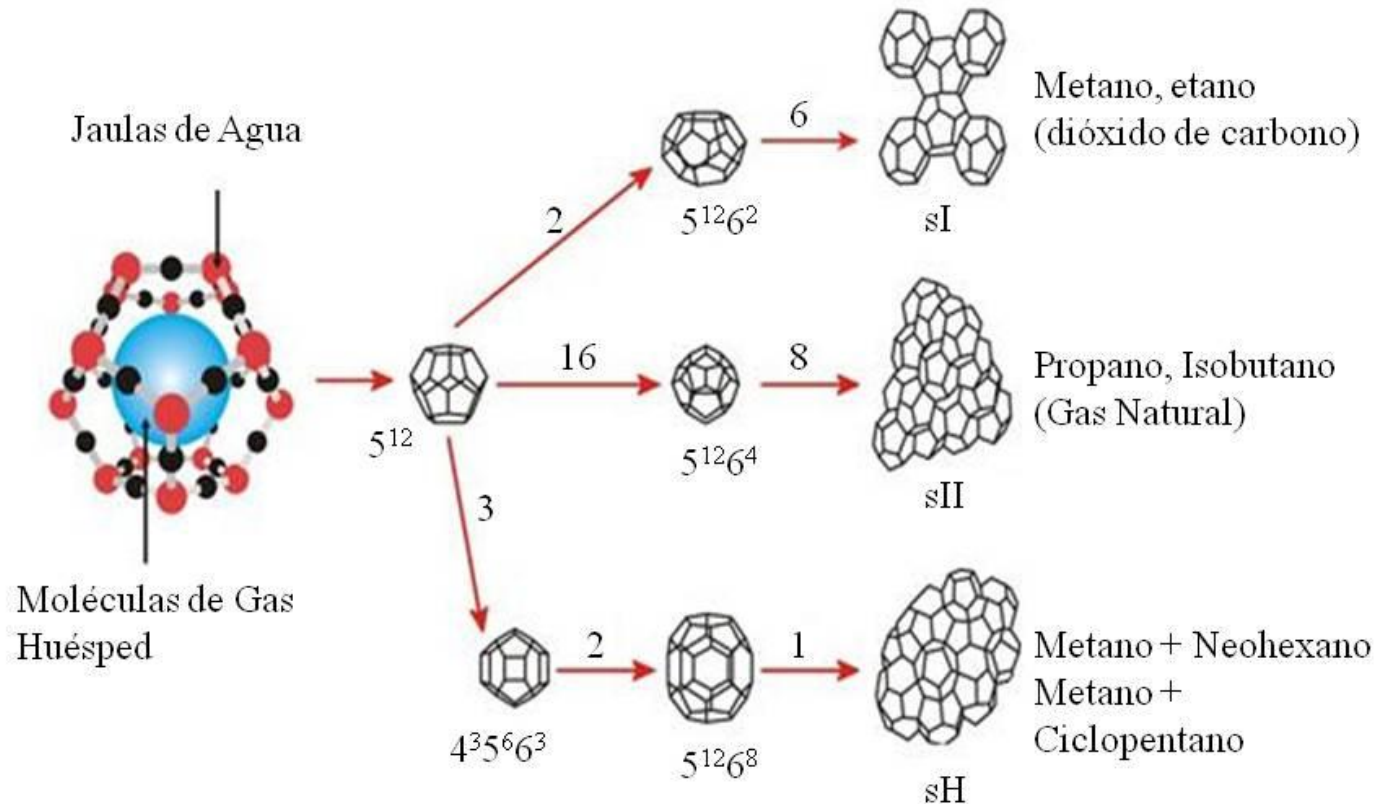
# HIDRATOS DE GAS

- ✓ Puentes de Hidrógeno
- ✓ Moléculas Jaulas
- ✓ Moléculas huéspedes
- ✓ Fuerzas de Van Der Waals
- ✓ No hay enlaces
- ✓ Compuestos Sólidos





# ESTRUCTURAS DE LOS HIDRATOS DE GAS

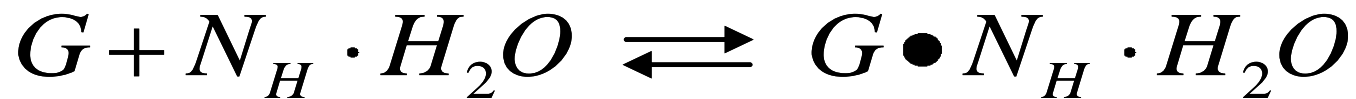


Fuente: Sinquin y col, 1998



## HIDRATOS COMO CAMBIO DE FASE

Número de hidratación teórico



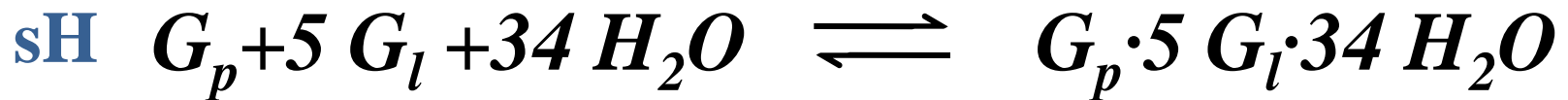
$$N_H = \frac{\text{moléculas\_agua}}{\text{moléculas\_gas}}$$



Número de hidratación ideal

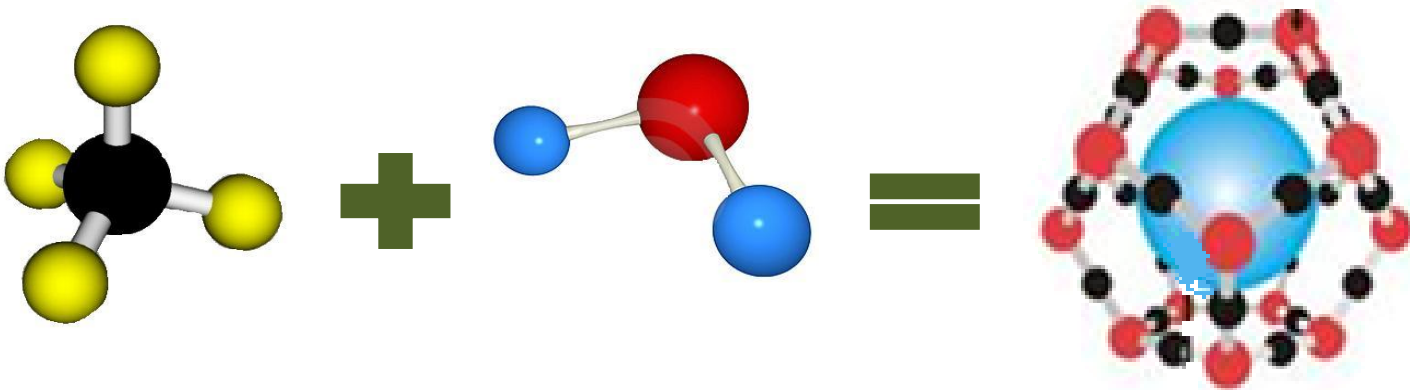
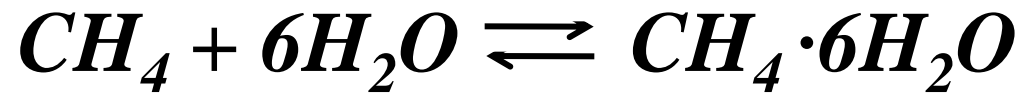


## HIDRATOS COMO CAMBIO DE FASE



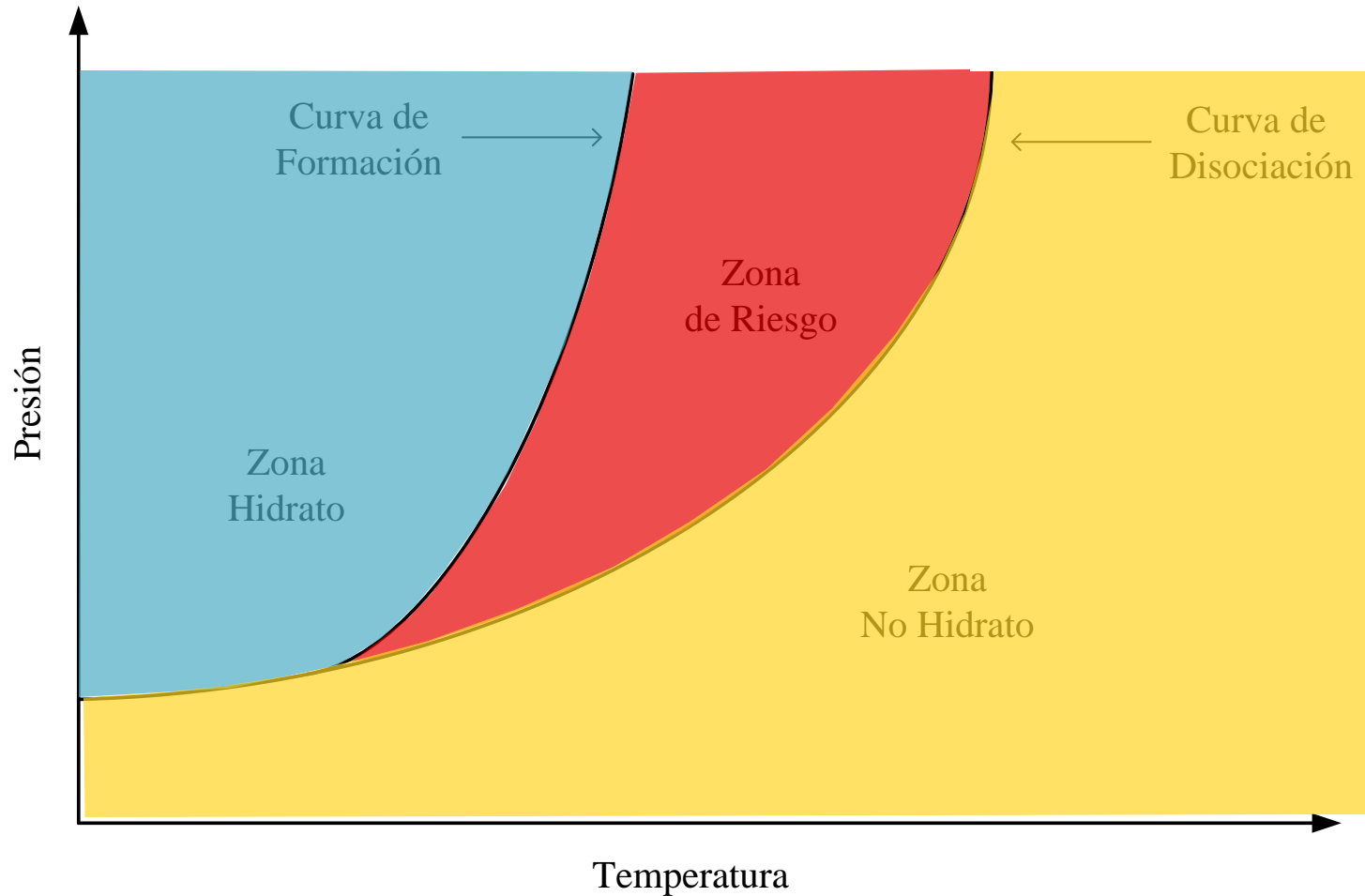


## HIDRATOS COMO CAMBIO DE FASE



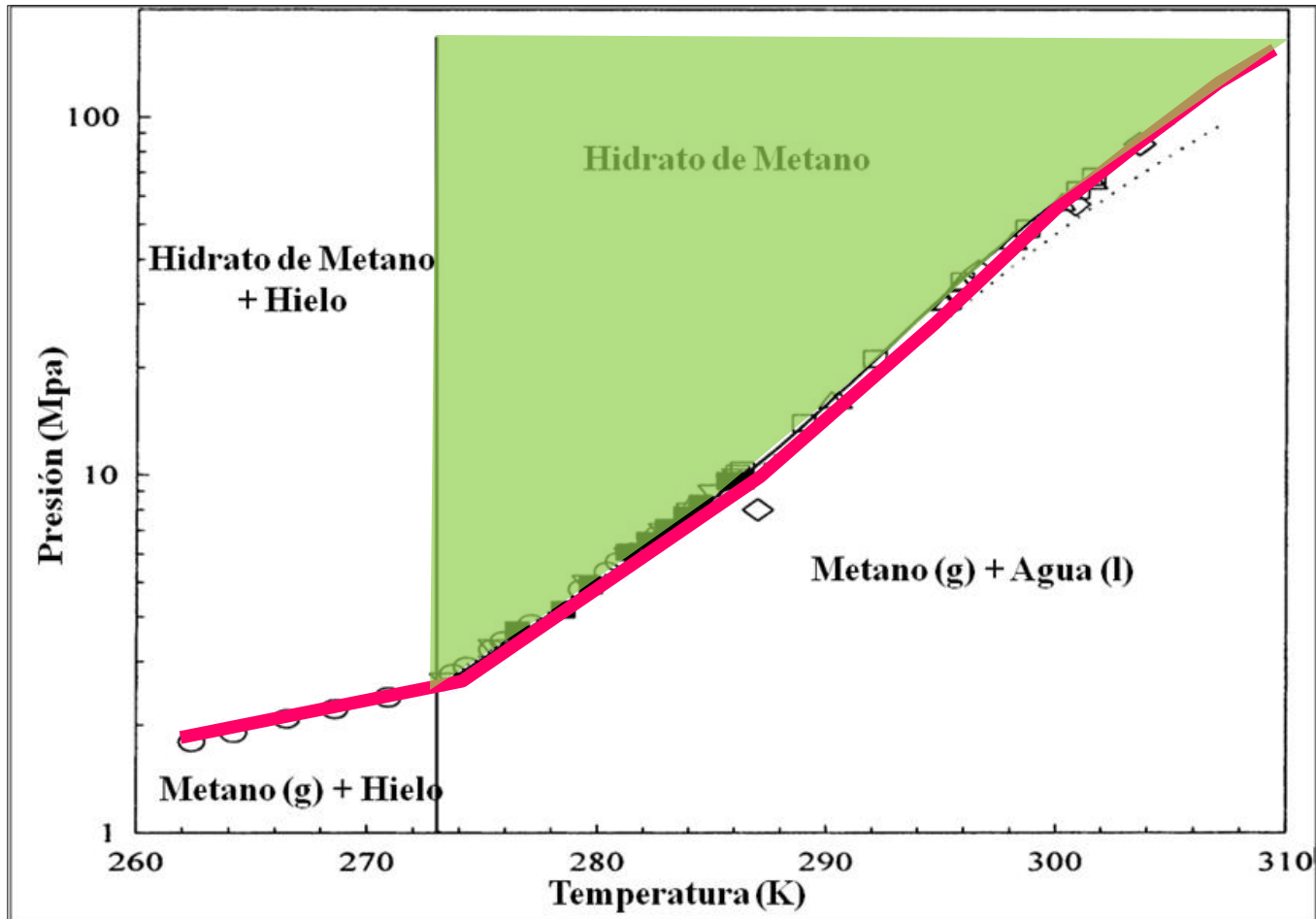


# FORMACIÓN DE LOS HIDRATOS DE GAS





# EQUILIBRIO DE FASE





## SIMULADORES

✓ Permite la representación matemática de un hecho físico.

A chalkboard with a mathematical equation written in white chalk:  $[f^{-1}(x)]' = \frac{1}{f'(y)}$ .

✓ Maneja y resuelve con rapidez y precisión sistemas de ecuaciones.

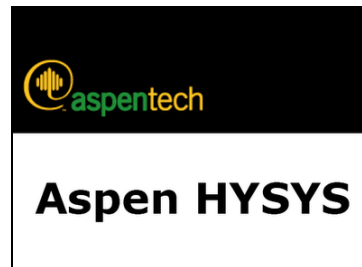
✓ Gran herramienta y avance tecnológico



✓ Diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de los procesos industriales



# SIMULADORES





# SIMULADORES

<b>A S P E C T O S  T É C N I C O S</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>Aspen PLUS</b>	<b>Aspen HYSYS</b>	<b>Pro II</b>
	<b>Desarrollador</b>	Aspen Technology	Hyprotech	Simulation Sciences
	<b>Modo de Simulación</b>	Estacionario	Estacionario / Dinámico	Estacionario
	<b>Base de datos</b>	La más grande del mundo en componentes puros y los datos de equilibrio de fases para los productos químicos convencionales, electrolitos, sólidos, y los polímeros.	Ofrece una base completa de la termodinámica cálculo exacto de las propiedades físicas, propiedades de transporte, y el comportamiento de fases para el petróleo y gas, y refinado de las industrias.	Posee una gran biblioteca de componentes químicos y extensas propiedades termodinámicas métodos de predicción con la más avanzada y flexible de la unidad de operaciones técnicas.
	<b>Métodos Termodinámicos</b>	Cuenta con una gran gama como: NRTL, Wilson, Redlich-Kwong, UNIFAC, UNIQUAC, entre otros. Los cuales se deben seleccionar directamente según lo que se desee modelar.	Posee una gran variedad de modelos termodinámicos comunes, entre ellos: Margules, Van Laar, Wilson, NTRL, UNIQUAC, UNIFAC, SRK, Peng Robinson, Virial, entre otras.	Los métodos pueden ser seleccionados individualmente para la estimación de cada uno de las propiedades termodinámicas, para ello dispone de: SRK, PR, GS, Van Laar, Wilson, NTRL, UNIFAC, BWR, BK10

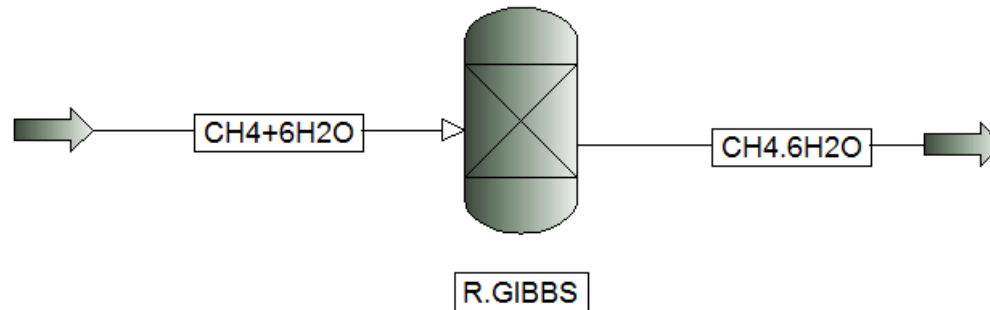


# SIMULADORES

	<b>SIMULADOR</b>	<b>Aspen PLUS</b>	<b>Aspen HYSYS</b>	<b>Pro II</b>
<b>A S P E C T O S</b>	<b>Propiedades Termodinámicas y de Transporte</b>	Las propiedades termodinámicas más usadas son: coeficientes de fugacidad, Entalpías, Entropías, Energía libre de Gibbs y volumen. Las de transporte son: viscosidad, conductividad térmica, coeficiente de difusión y tensión superficial.	Densidad de líquido, densidad de vapor, viscosidad, conductividad térmica, tensión superficial, capacidad calorífica, flujos volumétricos, entre otros.	Coefficientes de fugacidad, densidad de líquido y de vapor, capacidad calorífica, entalpías, flujos másicos y volumétricos, viscosidad, etc.
<b>T É C N I C O S</b>	<b>Tipos de Reactores</b>	Dispone de varias clases de modelos de reactores. Basados en el balance: RYield y RStoic; Basados en el equilibrio: REquil y RGibbs y Basados en la cinética: RCSTR, RSplug y RBatch.	Emplea dos clases de reactores, Los ideales: CSTR y PFR; Los generales: Gibbs, de equilibrio, de conversión y el de rendimiento.	Reactor de Equilibrio, Conversión, Gibbs, CSTR y PFR



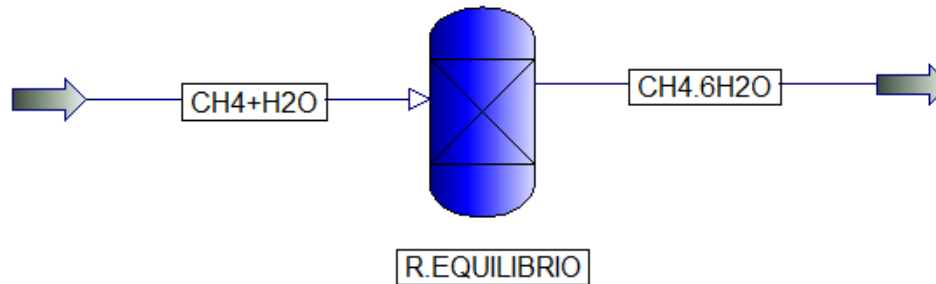
## REACTOR GIBBS



- ✓ Calcula la composición de equilibrio de la corriente de salida minimizando la energía libre de Gibbs de la corriente de entrada.
- ✓ Solo se requiere especificar la estequiometría.
- ✓ Se produce la reacción más probable.
- ✓ No requiere una expresión de  $K_{eq}(T)$
- ✓ Reactores con simultáneos equilibrios químicos y de fases.
- ✓ Cálculo de equilibrios de fase para soluciones con sólidos y sistemas vapor-liquido-sólido



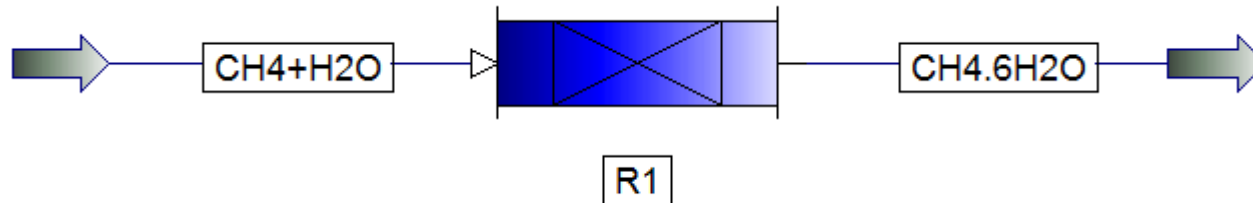
# REACTOR EQUILIBRIO



- ✓ Modela reacciones en equilibrio.
- ✓ Las corrientes de salida del reactor se encuentran en estado de equilibrio químico y físico.



## REACTOR FLUJO PISTON



- ✓ Realiza una reacción con cambios en la concentración, la presión y la temperatura, en la dirección axial.
- ✓ La conversión que se alcanza en un reactor depende del volumen, el tiempo espacial y la velocidad de reacción en el reactor, además del flujo y la concentración del alimento.



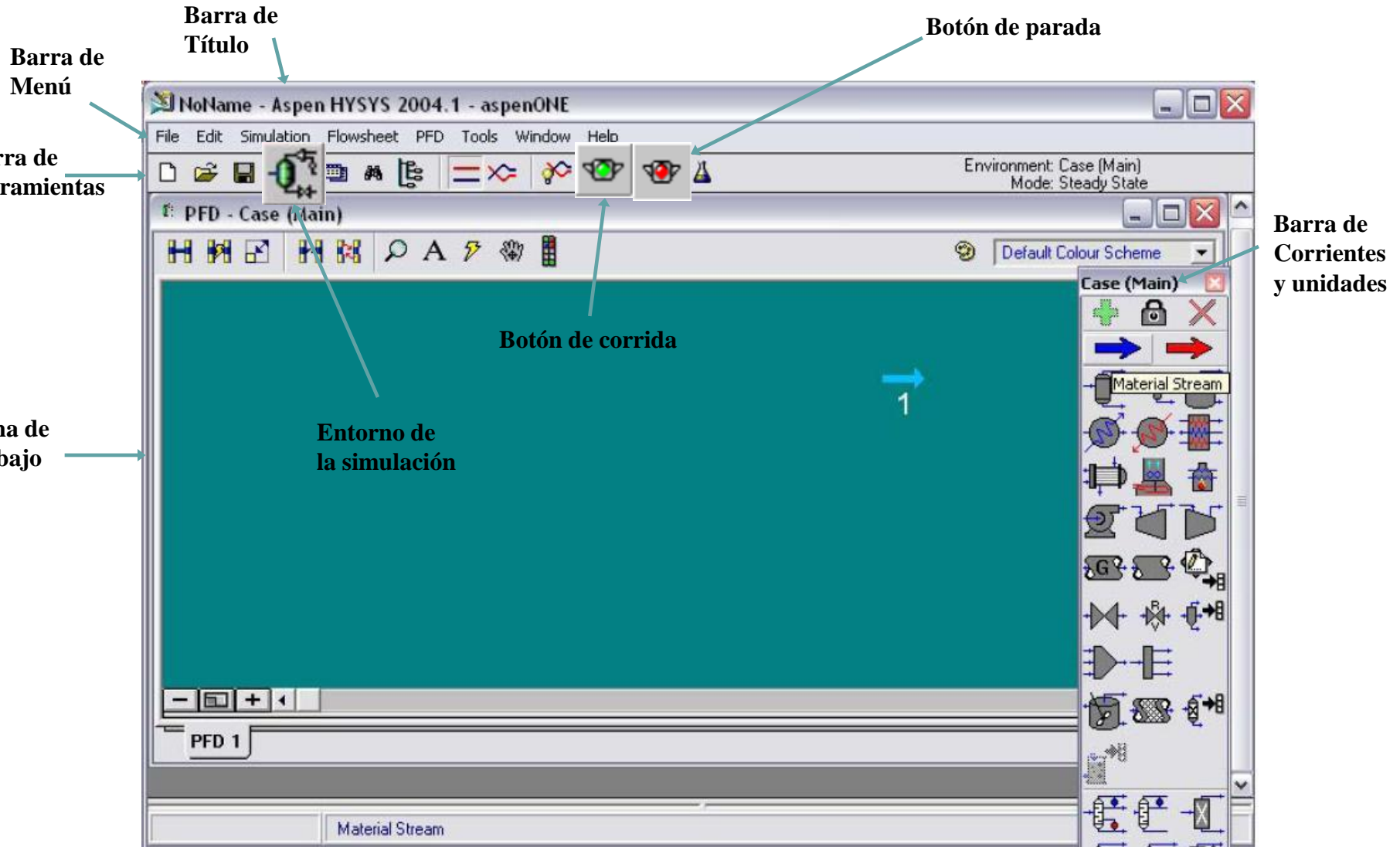
# Aspen Plus

The image shows the Aspen Plus software interface with several components labeled in Spanish:

- Menús**: Points to the menu bar at the top of the window.
- Barra de título**: Points to the title bar of the window.
- Barra de herramientas**: Points to the toolbar containing various icons for file operations and simulation.
- Botón siguiente**: Points to a specific button in the toolbar.
- Zona de trabajo**: Points to the main workspace area.
- Botón de Selección de Modo**: Points to the 'Material' button in the 'Mixers/Splitters' section of the library.
- Tipos de corrientes**: Points to the 'STREAMS' label in the library.
- Librería de modelos**: Points to the 'SSplit' icon in the library.
- Estado del diagrama de flujo**: Points to the 'Flowsheet Not Complete' status bar at the bottom right.



# Hysys





# Pro II

Barra de Menú

Barra de Título

Botón de corrida

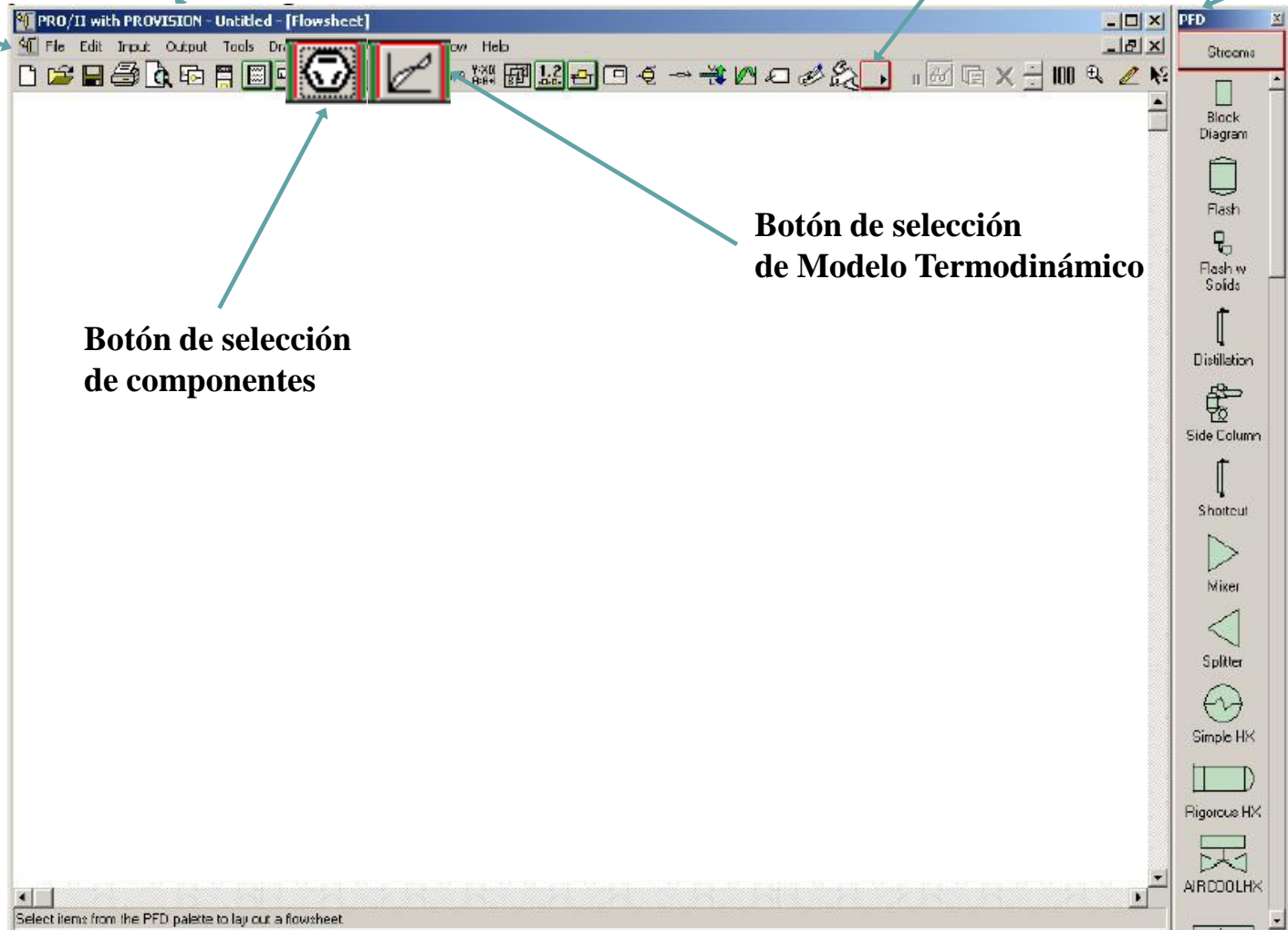
Barra de Corrientes y unidades

Barra de herramientas

Botón de selección de Modelo Termodinámico

Botón de selección de componentes

Zona de trabajo





# *Metodología*

---



# METODOLOGÍA

## 1.- Revisión Bibliográfica



## 2.- Definición de los Hidratos de Gas

Propiedad	Valor <sup>+</sup>
<del>Fundamentos de los</del> (unidades) en Termodinámica	
<del>Simuladores</del> Soavel (1972)	30 (0 C)
<b>Peng &amp; Robinson</b>	
<del>Recopilación de</del> H <sub>S</sub> (J/mol)	2501,08 (0 C)
<del>Datos</del> Valderrama y Cisternas (1986)	5309 (1986)
<del>μ(Pa·seg)</del> Mika (1989)	7,21x10 <sup>-5</sup> (25 C)
k(w/m·K)	0,5
σ(dinas/cm)	17

Propiedad (unidades)	Valor <sup>++</sup>
<del>Definición de las</del> Propiedades	
ΔH <sub>f</sub> <sup>o</sup> (J·mol <sup>-1</sup> )	-1.831.056
ΔG <sub>f</sub> (J·mol <sup>-1</sup> )	-1.470.018

Propiedad Termodinámica (unidades)	Valor <sup>+</sup>
<del>Elección de la Ec.</del>	
ρ <sub>M</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0,00543
H <sub>S</sub> (J/mol)	2501,08
μ(Pa·seg)	7,21x10 <sup>-5</sup>
k(w/m·K)	0,0104
σ(dinas/cm)	0,0756

Fuente: <sup>+</sup> Sloan, 1998

<sup>++</sup> Sholokov, 2009

<sup>+++</sup> Castillo y Vázquez, 2001



# METODOLOGÍA

1.- Revisión Bibliográfica



2.- Definición de los Hidratos de Gas



3.- Definir el modelo de Reactor a emplear

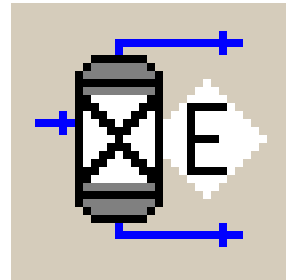
Pro II

Hysys

Aspen Plus



- ✓ Vapor-Líquido-Sólido
- ✓ Reacciones
- ✓ Cálculo del reactor
- ✓ Isotérmico

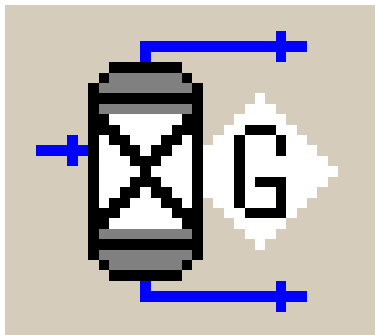


- ✓ Vapor-Líquido
- ✓ Reacción de formación
- ✓ Coeficiente (A) de la  $K_{eq}$
- ✓ Concentraciones (Provero, 2010)



# METODOLOGÍA

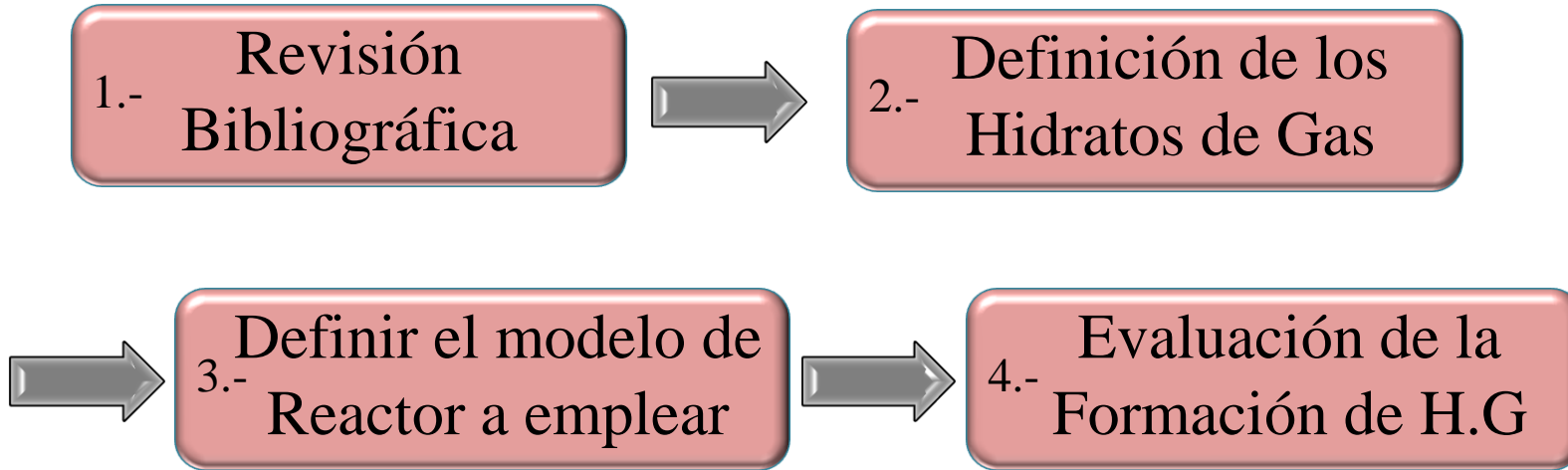
## Pruebas Realizadas en el Reactor de Equilibrio



- ✓ Iteración de la Constante de Equilibrio bajo las condiciones de P y T establecidas y una alimentación de 0,05 de Agua y 0,95 de Gas Metano en Fracción Molar.
- ✓ Evaluación de las condiciones de P y T manteniendo la Constante de Equilibrio hallada anteriormente sobre la conversión.
- ✓ Variación de las composiciones de alimentación de los reactantes
- ✓ Iteración de la constante de equilibrio para alimentaciones de agua de 0,01 y metano 0,99 y alimentaciones de 0,10 y 0,90 en fracción molar.

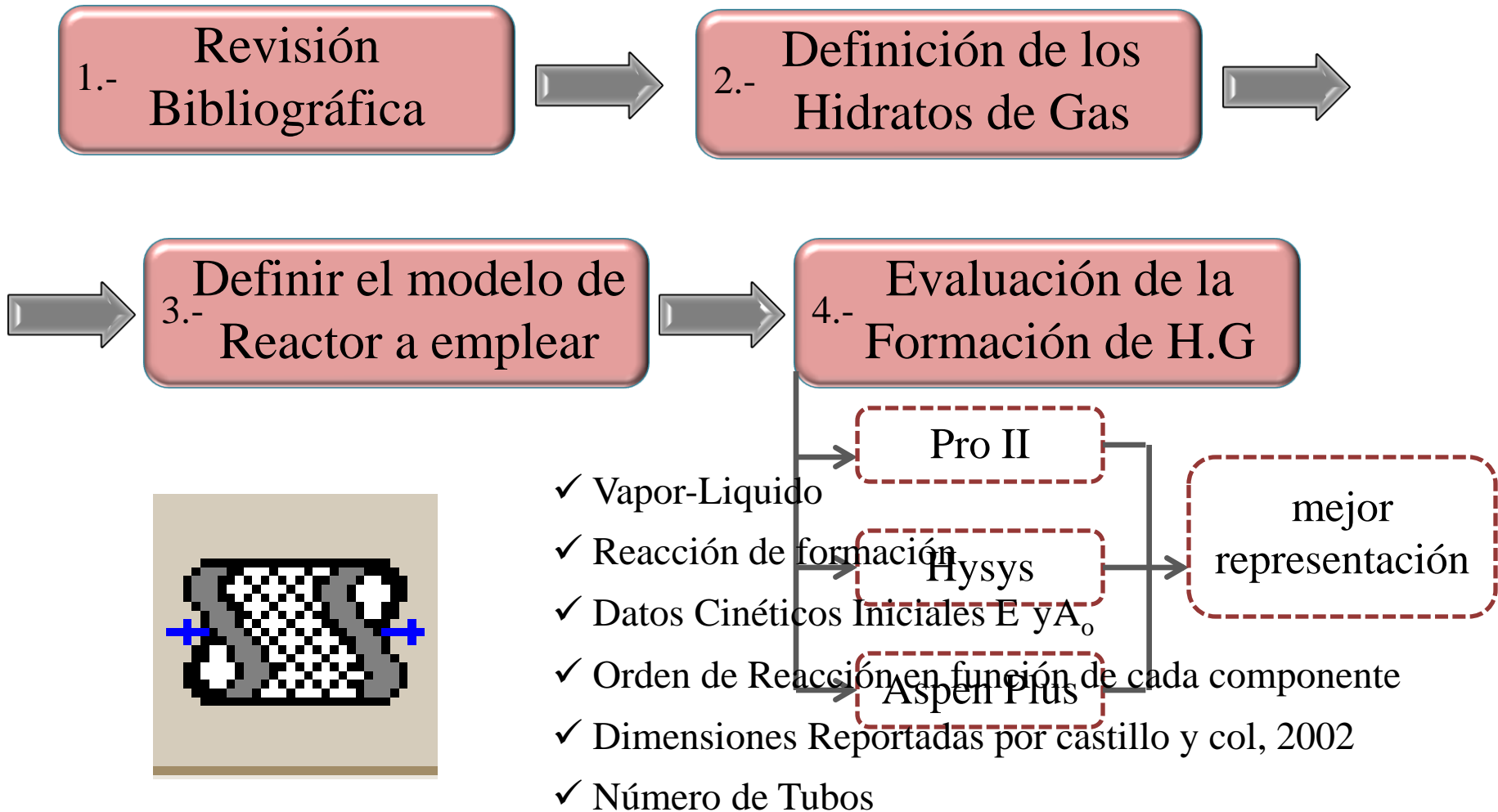


# METODOLOGÍA





# METODOLOGÍA





# METODOLOGÍA

1.- Revisión Bibliográfica



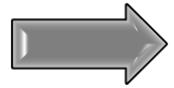
2.- Definición de los Hidratos de Gas



3.- Definir el modelo de Reactor a emplear



4.- Evaluación de la Formación de H.G



5.- Análisis de Sensibilidad



6.- Evaluación y valorización de la formación de H.G

% H<sub>2</sub>O, P, T, L y  $\phi_T$



Condiciones Óptimas



# METODOLOGÍA

1.- Revisión  
Bibliográfica



2.- Definición de los  
Hidratos de Gas



3.- Definir el modelo de  
Reactor a emplear



4.- Evaluación de la  
Formación de H.G



5.- Análisis de  
Sensibilidad



6.- Evaluación y valorización  
de la formación de H.G



7.- Validación de  
la Simulación





---

## *Resultados y Discusión*



## Definición de los hidratos

**Hysys**

**Aspen Plus**

**Pro II**

Estructura Molecular	-	-	✓
Propiedades	✓	-	✓
Sólido	-	✓	✓

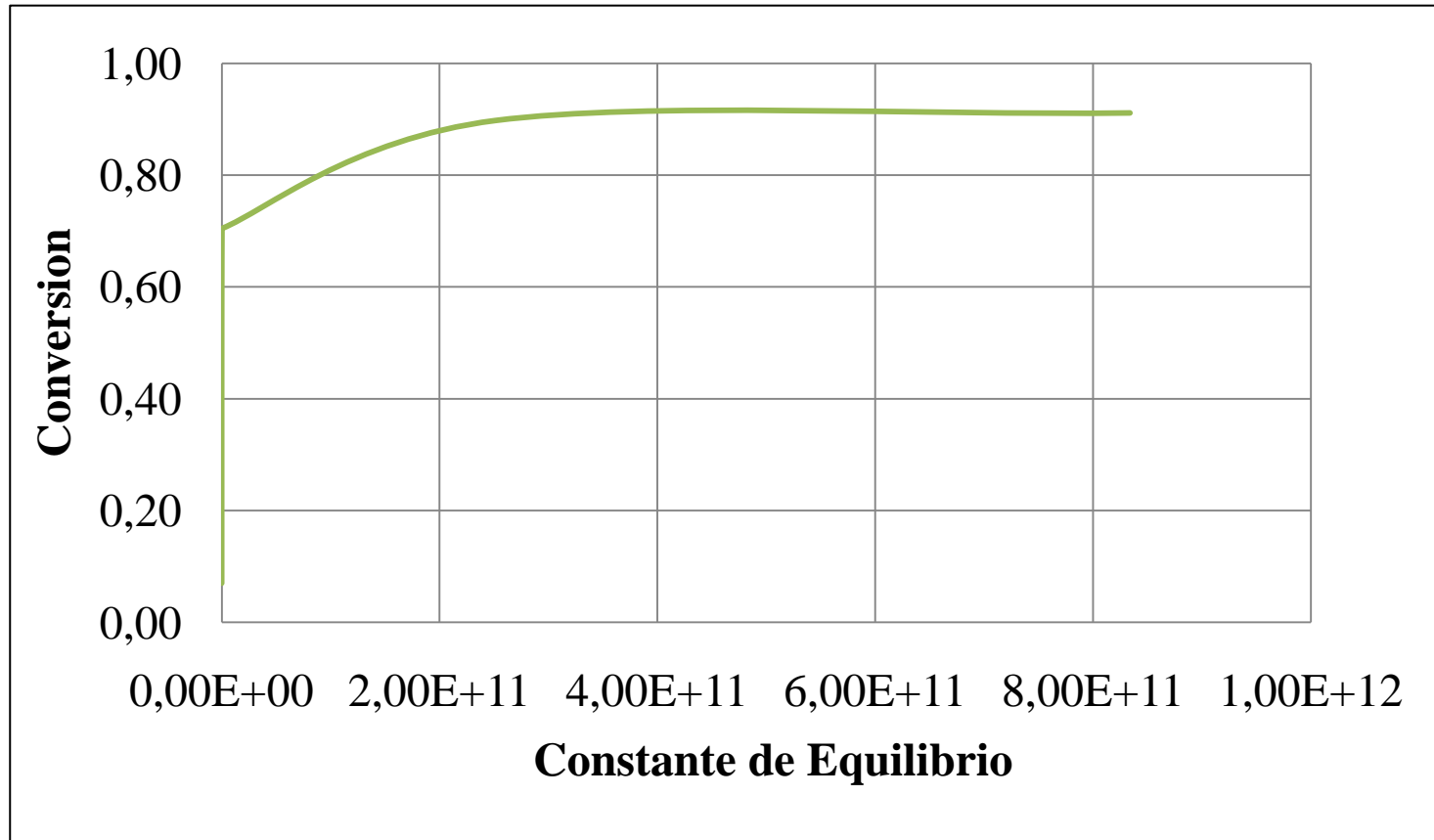




# Reactor Gibbs



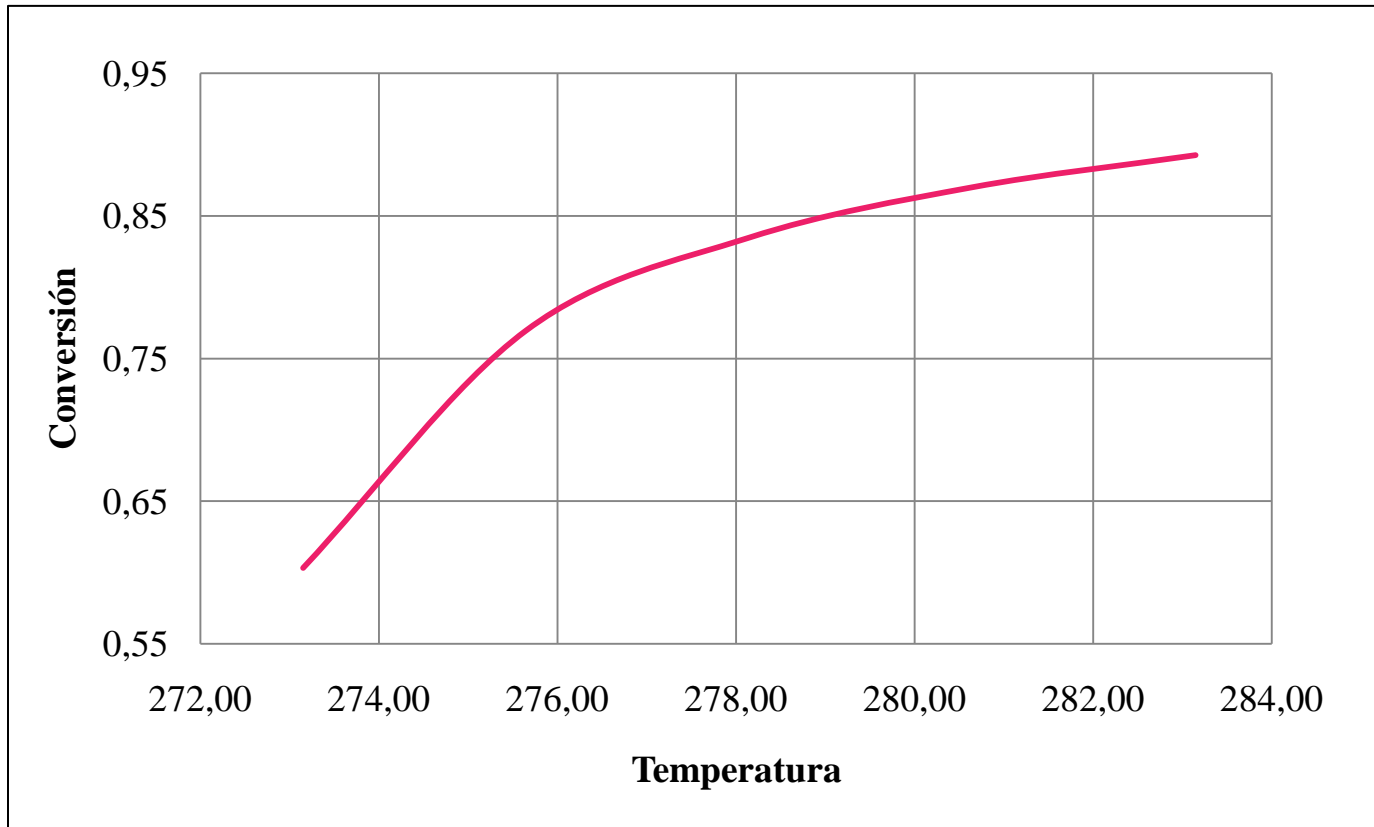
## Reactor de Equilibrio



**Conversión en función de la constante de equilibrio para  $Z_{H_2O}=0,05$**



## Reactor de Equilibrio



**Efecto de la temperatura en la conversión**

$$\Delta H_{R \text{ DISOCIACIÓN}} = -\Delta H_{R \text{ FORMACIÓN}}$$



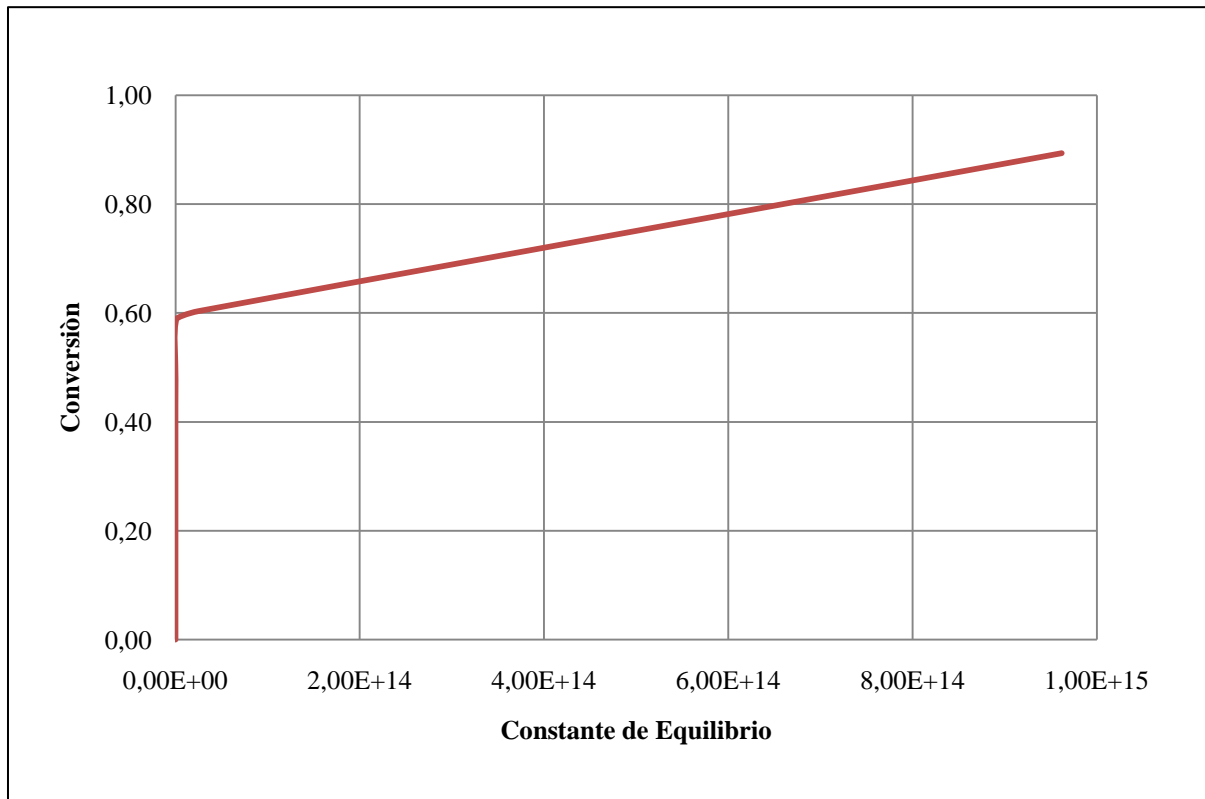
## Reactor de Equilibrio

**Evaluación de los parámetros P y T sobre la curva de Equilibrio**

<b>T(°C)</b>	<b>P(MPa)</b>	<b>X<sub>H2O</sub></b>	<b>F<sub>Hidratos</sub>(g/h)</b>	<b>F<sub>Hidratos</sub>(mol/h)</b>	<b>K<sub>Formación</sub></b>
-10,75	1,78	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23
0,00	2,60	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23
2,50	3,31	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23
5,00	4,26	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23
7,50	5,53	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23
10,00	7,25	0,8927	92343,42	743,90	2,09E+23



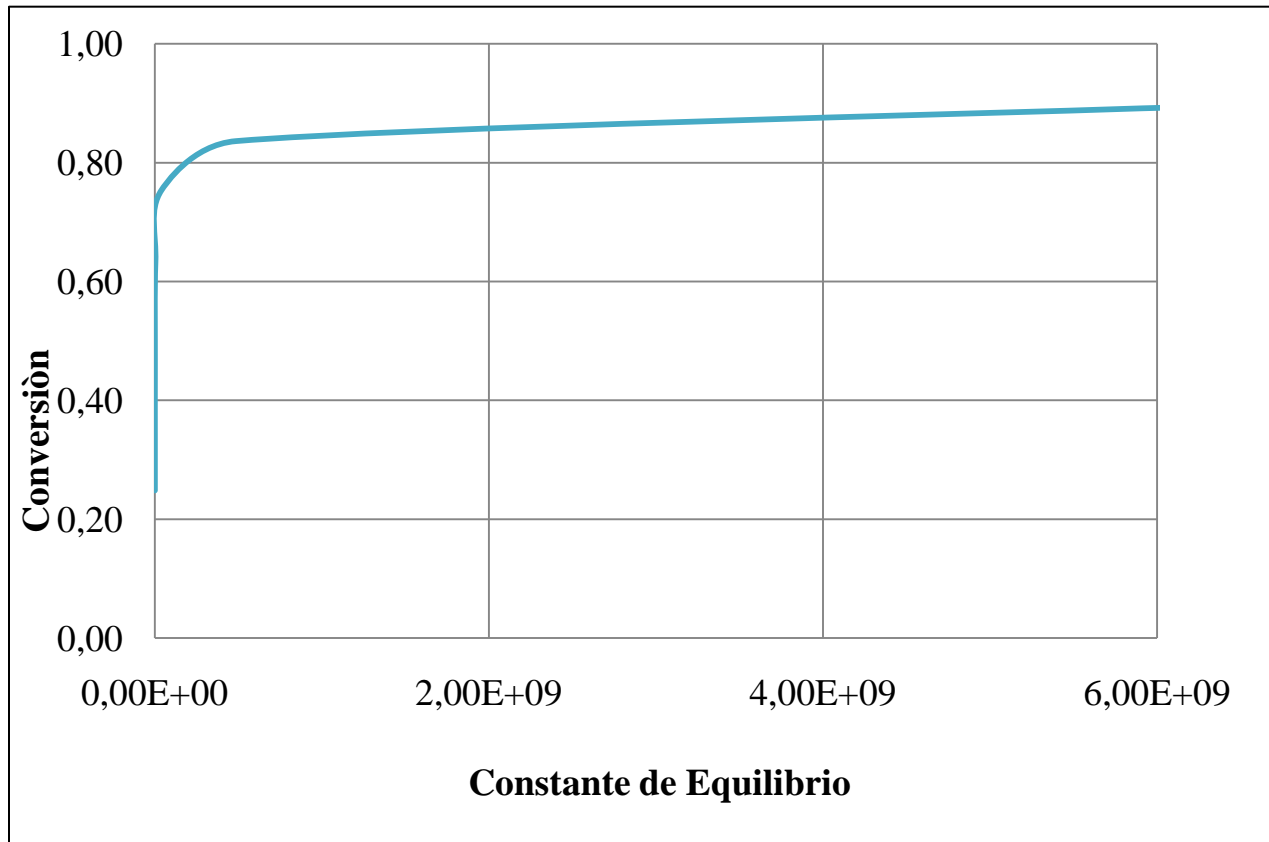
## Reactor de Equilibrio



**Conversión en función de la  $K_{eq}$  para  $ZH_2O=0,01$**



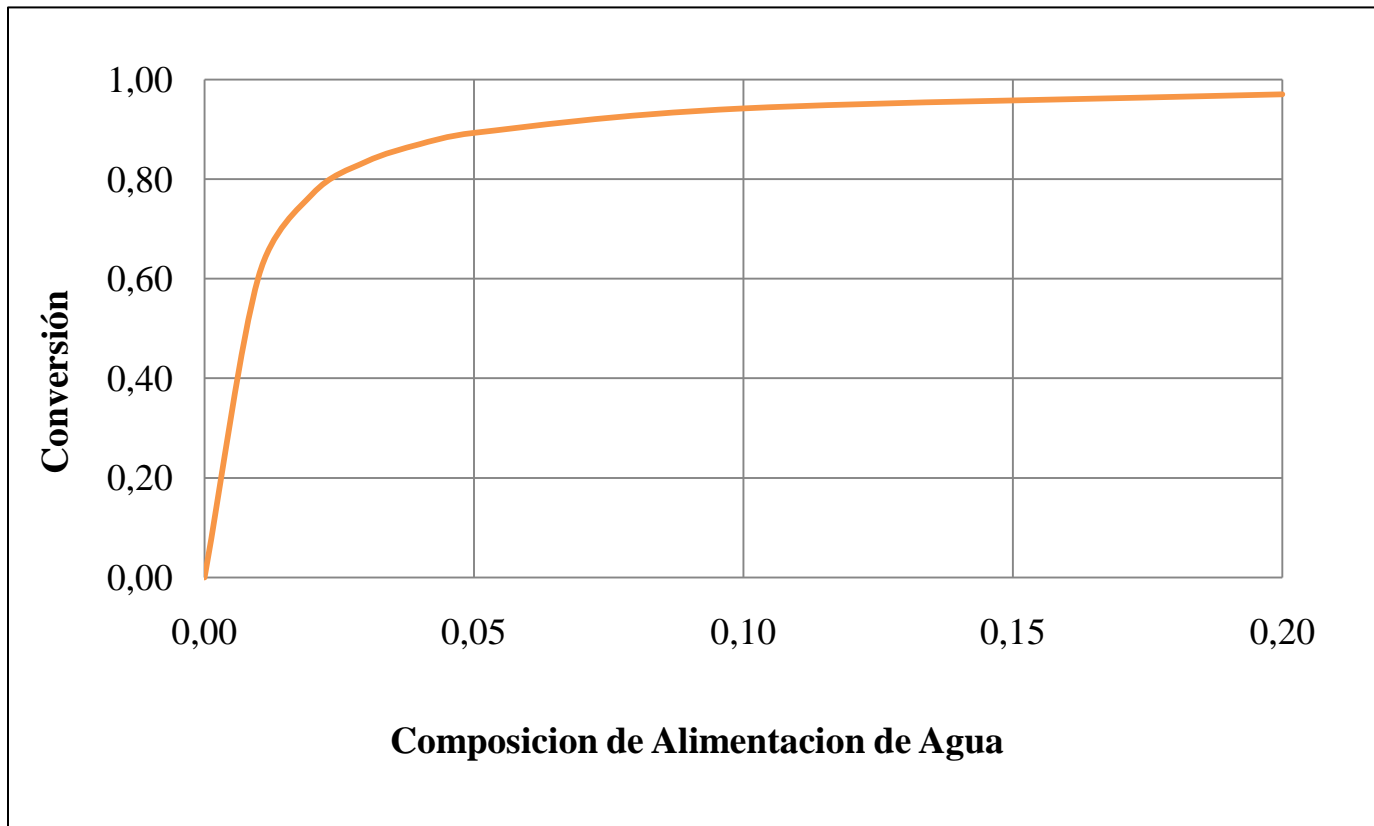
## Reactor de Equilibrio



**Conversión en función de la Keq para ZH<sub>2</sub>O=0,10**



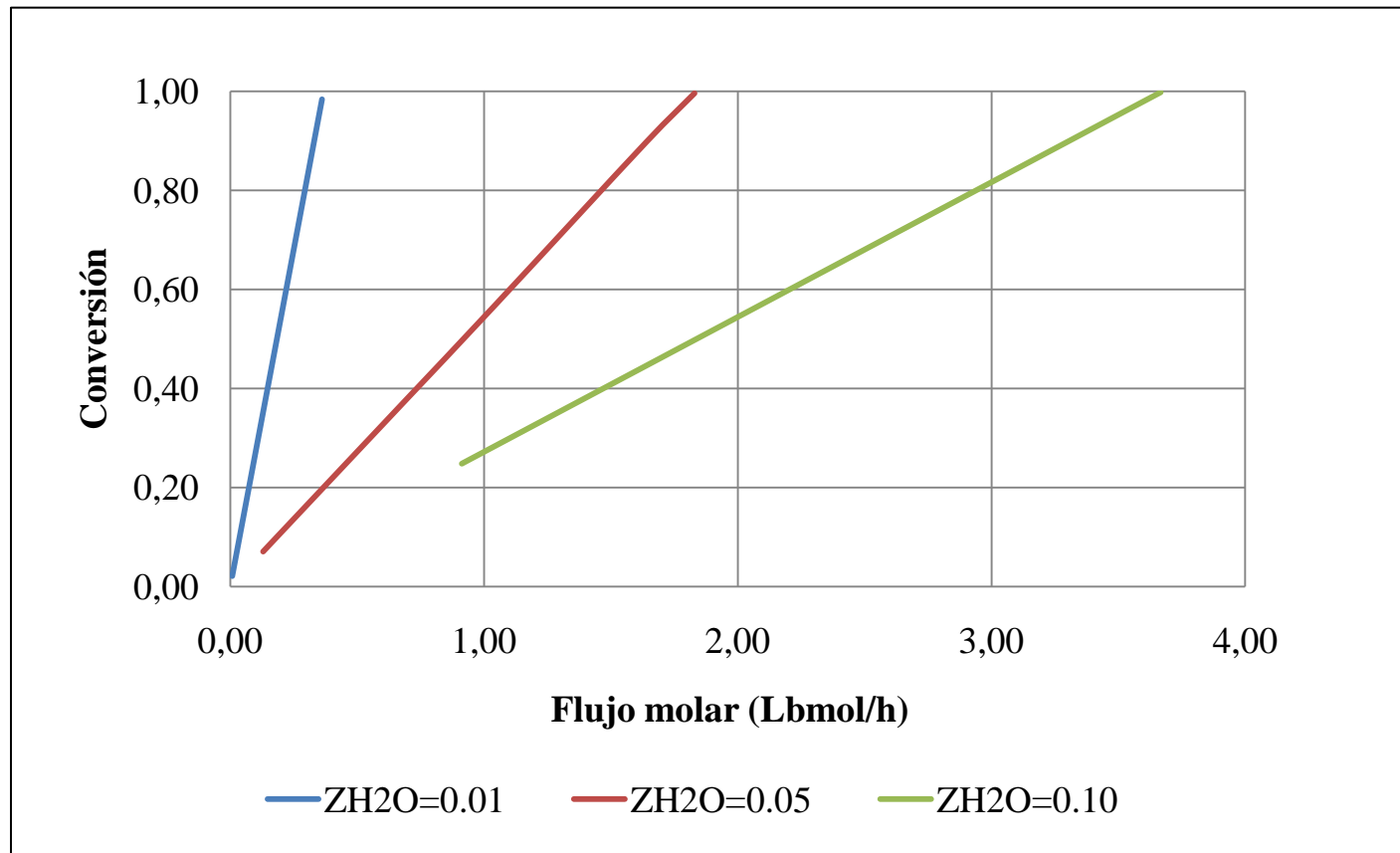
## Reactor de Equilibrio



**Conversion en función del agua de alimentación**



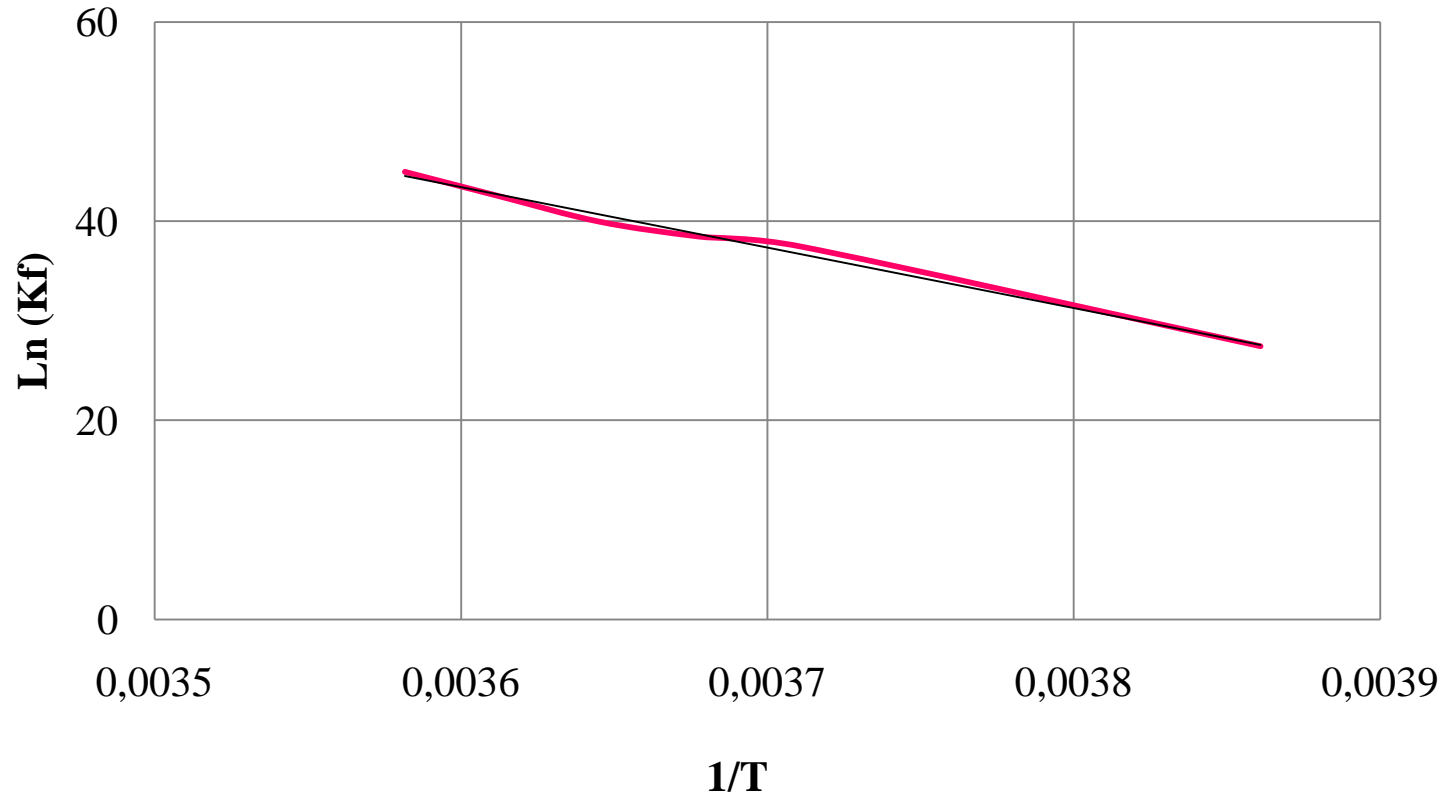
## Reactor de Equilibrio



**Variación de la conversión en función del flujo molar de hidratos**



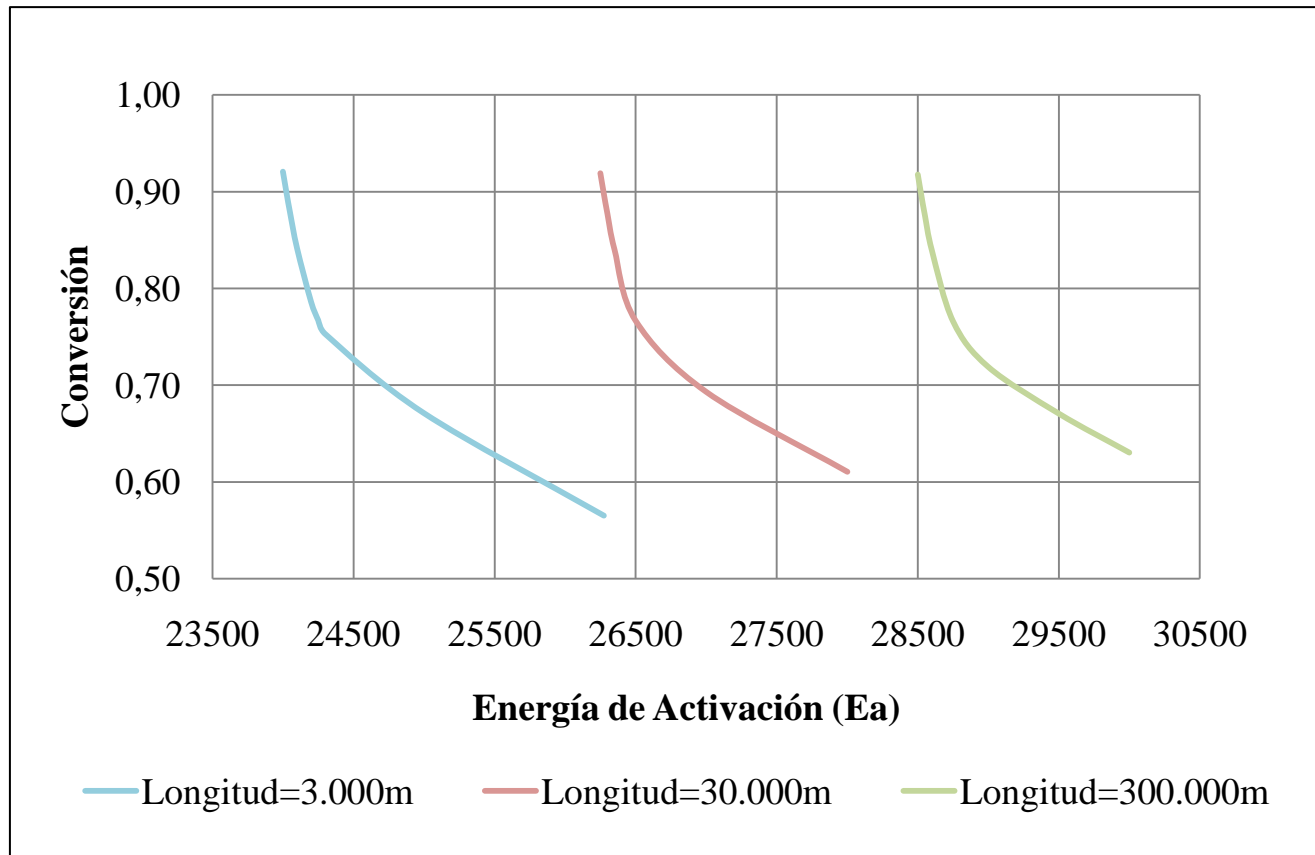
## Ajuste para el cálculo de $E_a$ y $A_0$



**Coefficiente de Actividad y Energía de Activación**



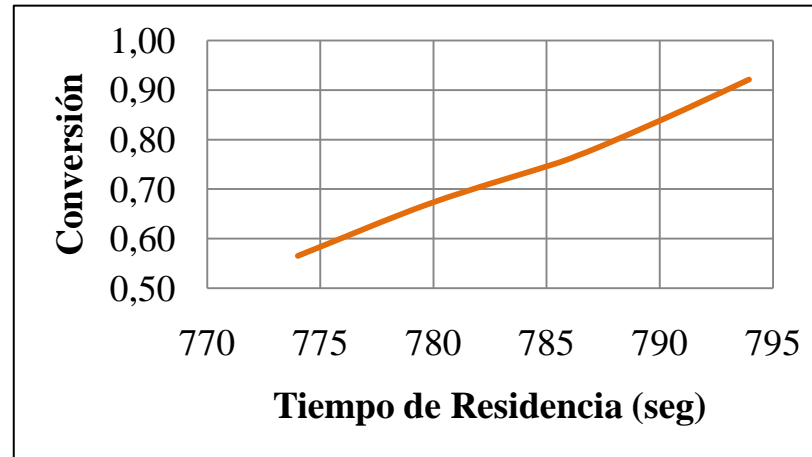
## Reactor de Flujo Pistón



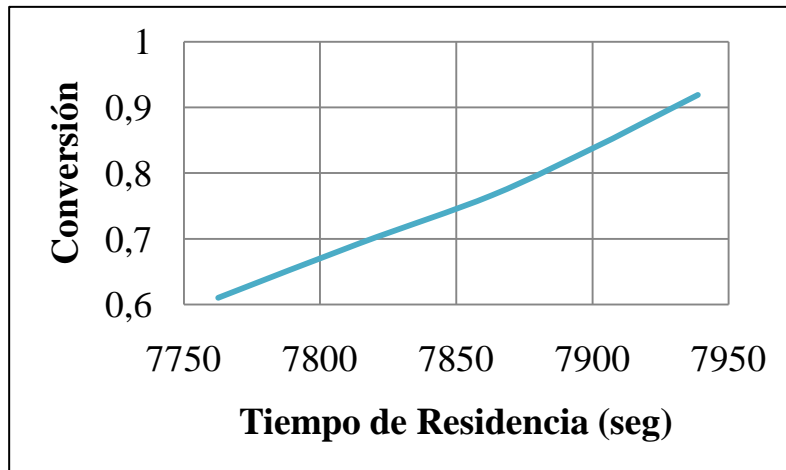
**Variación de la conversión en función de la energía de activación**



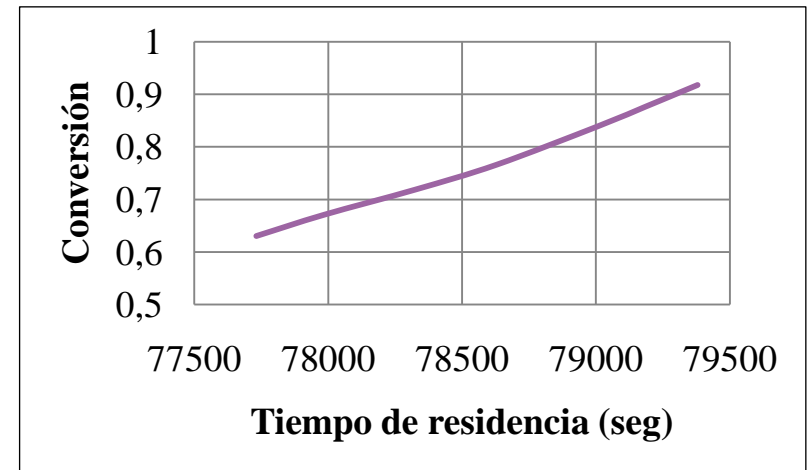
## Reactor de Flujo Pistón



Conversión en función del tiempo de residencia para  
 $L= 3.000 \text{ m}$



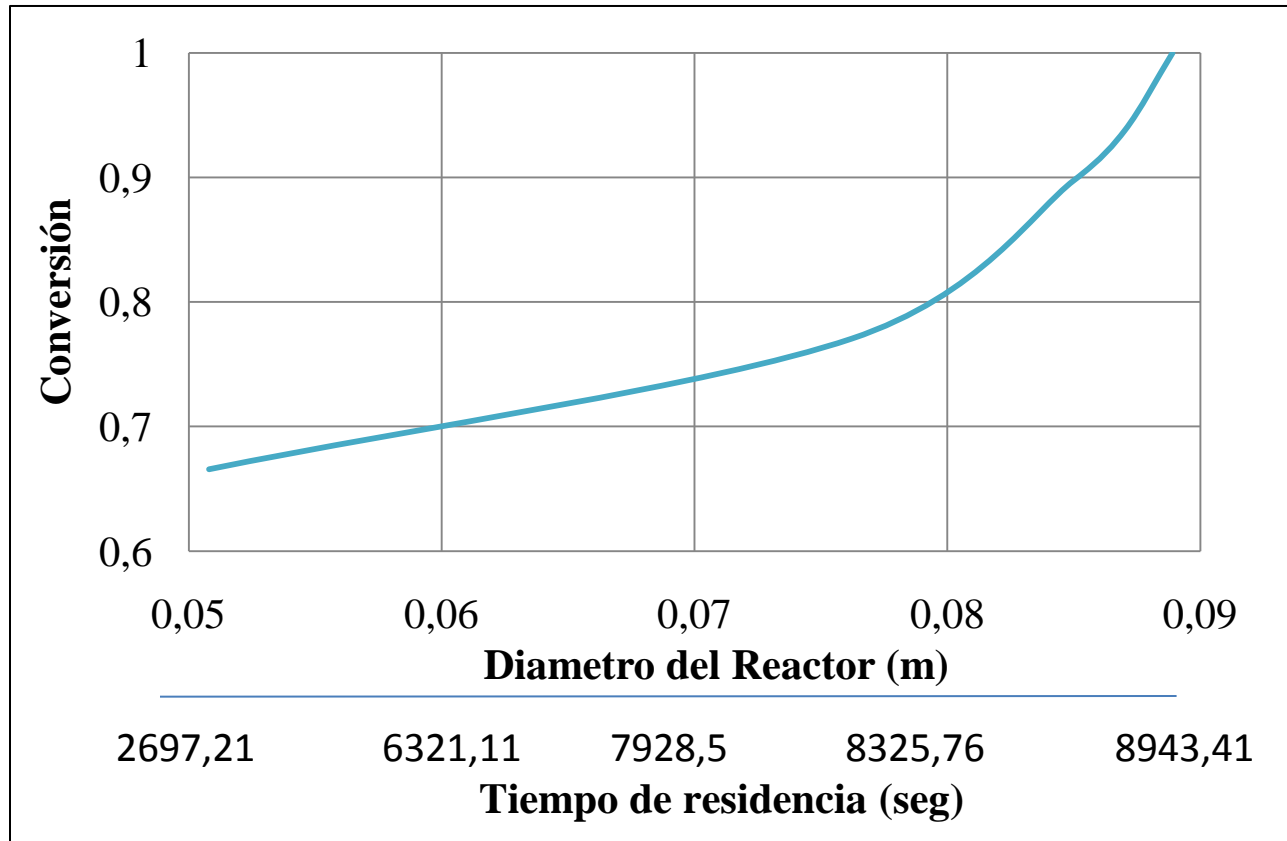
Conversión en función del tiempo de residencia para  
 $L= 30.000 \text{ m}$



Conversión en función del tiempo de residencia para  
 $L= 300.000 \text{ m}$



## Reactor de Flujo Pistón



**Conversión en función del diámetro del reactor.**



## Reactor de Flujo Pistón

### Efecto de la presencia de contaminantes en el gas sobre la conversión

Mezcla	$X_{H_2O}$	$F_{Hidratos}(g/h)$	$F_{Hidratos}(mol/h)$	$t_{Res}(seg)$
Sin contaminantes	0,8977	92866,5497	748,1117	7928,54
H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> y N <sub>2</sub>	0,8383	86717,8886	698,5795	7999,57
H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,9043	93543,1699	753,5624	8067,18



---

*Conclusiones*



## CONCLUSIONES

- ✓ Los simuladores Hysys y Aspen Plus no representan la formación de hidratos de gas, debido a sus limitaciones en cuanto a la definición de la molécula.
- ✓ El simulador Pro II mostró capacidad para modelar el proceso, ya que logró definir en su totalidad las moléculas de hidratos.
- ✓ El Reactor Gibbs presentó errores al tratar de simular la formación de hidratos de metano en todos los simuladores, debido a las características propias del reactor.



## CONCLUSIONES

- ✓ El Reactor de equilibrio logró emular la reacción de formación de hidratos, que permitió alcanzar la conversión establecida por los resultados obtenidos en trabajos anteriores.
- ✓ Se obtuvieron valores de la constante de equilibrio en el orden de magnitud reportado por la literatura.
- ✓ La conversión obtenida en el reactor de equilibrio depende proporcionalmente de la constante de equilibrio de la reacción
- ✓ A mayor composición de agua en la alimentación se obtiene una conversión mayor.



## CONCLUSIONES

- ✓ La conversión en el reactor flujo pistón es inversamente proporcional a la energía mínima necesaria para que ocurra la reacción de formación de los hidratos de gas metano.
- ✓ La conversión que se alcanza en el reactor depende del volumen, el tiempo de residencia, además del flujo y la concentración de la alimentación.
- ✓ Se encontraron limitaciones en cuanto a la variación del diámetro del reactor, estando éste acotado por el margen superior de valores igual a 0,09 m.



## CONCLUSIONES

- ✓ Al aumentar el diámetro del reactor aumenta también el tiempo de residencia de los reactantes en el reactor, por lo tanto varían de forma proporcional.
- ✓ Al agregar contaminantes a la mezcla de metano y agua, tales como  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_6$ , la conversión aumenta respecto al proceso inicial. Sin embargo al agregarle  $\text{N}_2$  además de los contaminantes antes mencionados la conversión disminuye.
- ✓ El simulador comercial Pro II, tal y como está estructurado para su uso comercial, resultó modelar de manera eficiente la formación de hidratos de gas, representando las condiciones de formación experimentales reportadas por la literatura.



---

## *Recomendaciones*



## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Modificar el código fuente de los simuladores comerciales, de manera que permita modelar las estructuras formadoras de hidratos, a fin de determinar cuál de éstas termodinámicamente se ve más beneficiada..
- ✓ Realizar la evaluación de la formación de hidratos considerando una caída de presión en la tubería, de forma de determinar la influencia de la variación de éste parámetro en el proceso..
- ✓ Evaluar el efecto de la adición de inhibidores en la mezcla de gas, mediante la programación de un método que emule el efecto de estos sobre los cristales de hidrato.



## RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar las modificaciones pertinentes en el programa, de manera de poder definir los hidratos en fase sólida para cualquier equipo que modele el simulador.
- ✓ Evaluar la sustitución de  $\text{CH}_4$  por  $\text{CO}_2$  en la evaluación de la formación de hidratos de gas, debido a la competencia existente entre ellos.



*¡Muchas Gracias por su atención!*



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**



**Escuela de Ingeniería Química**



# **EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS DE GAS METANO MEDIANTE EL EMPLEO DE SIMULADORES COMERCIALES DE PROCESOS**

**Tutor: Francisco Yánez**

**Presentado por: Br. Ángela Mujica**

**Co-Tutor: Leonardo Oropeza**

**Ciudad Universitaria de Caracas, Marzo 2010**



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**



**Escuela de Ingeniería Química**



# **EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS DE GAS METANO MEDIANTE EL EMPLEO DE SIMULADORES COMERCIALES DE PROCESOS**

**Tutor: Francisco Yánez**

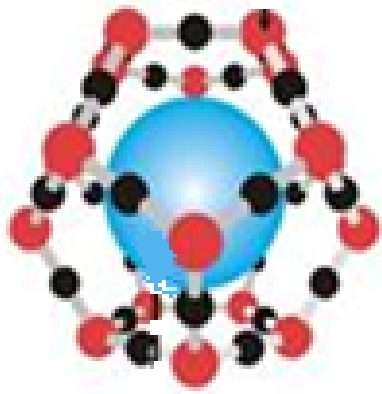
**Presentado por: Br. Ángela Mujica**

**Co-Tutor: Leonardo Oropeza**

**Ciudad Universitaria de Caracas, Marzo 2010**

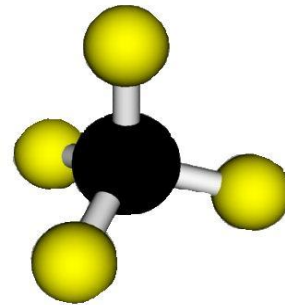


## CONTENIDO DE GAS



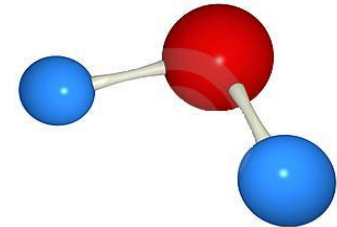
1 m<sup>3</sup> de  
Hidrato de gas

=



164 m<sup>3</sup> de gas

+



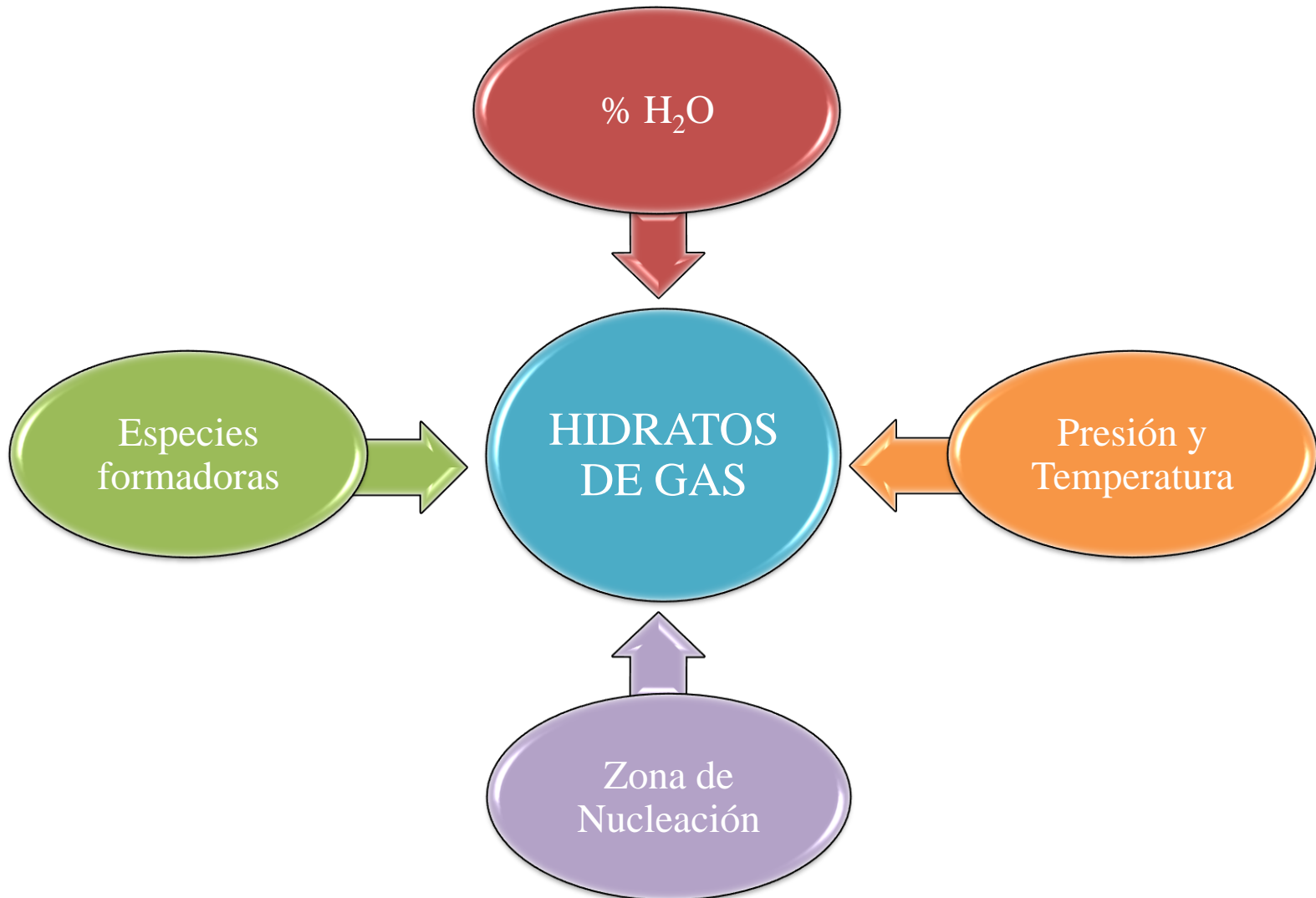
0,8 m<sup>3</sup> de Agua

*Fuente: (Sloan, 1998).*

**A Temperatura y Presión Estándar (25 C y 1 atm)**

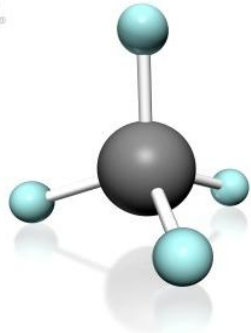


# ¿CÓMO SE FORMAN LOS HIDRATOS?

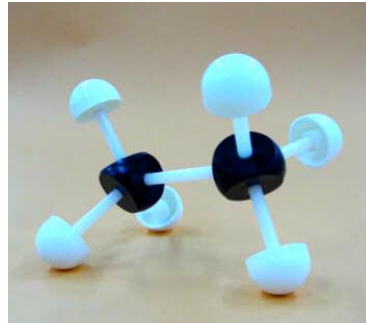




## Especies formadoras



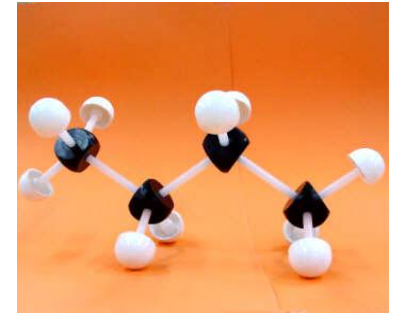
**Metano**



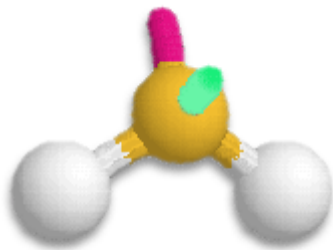
**Etano**



**Propano**



**Butano**



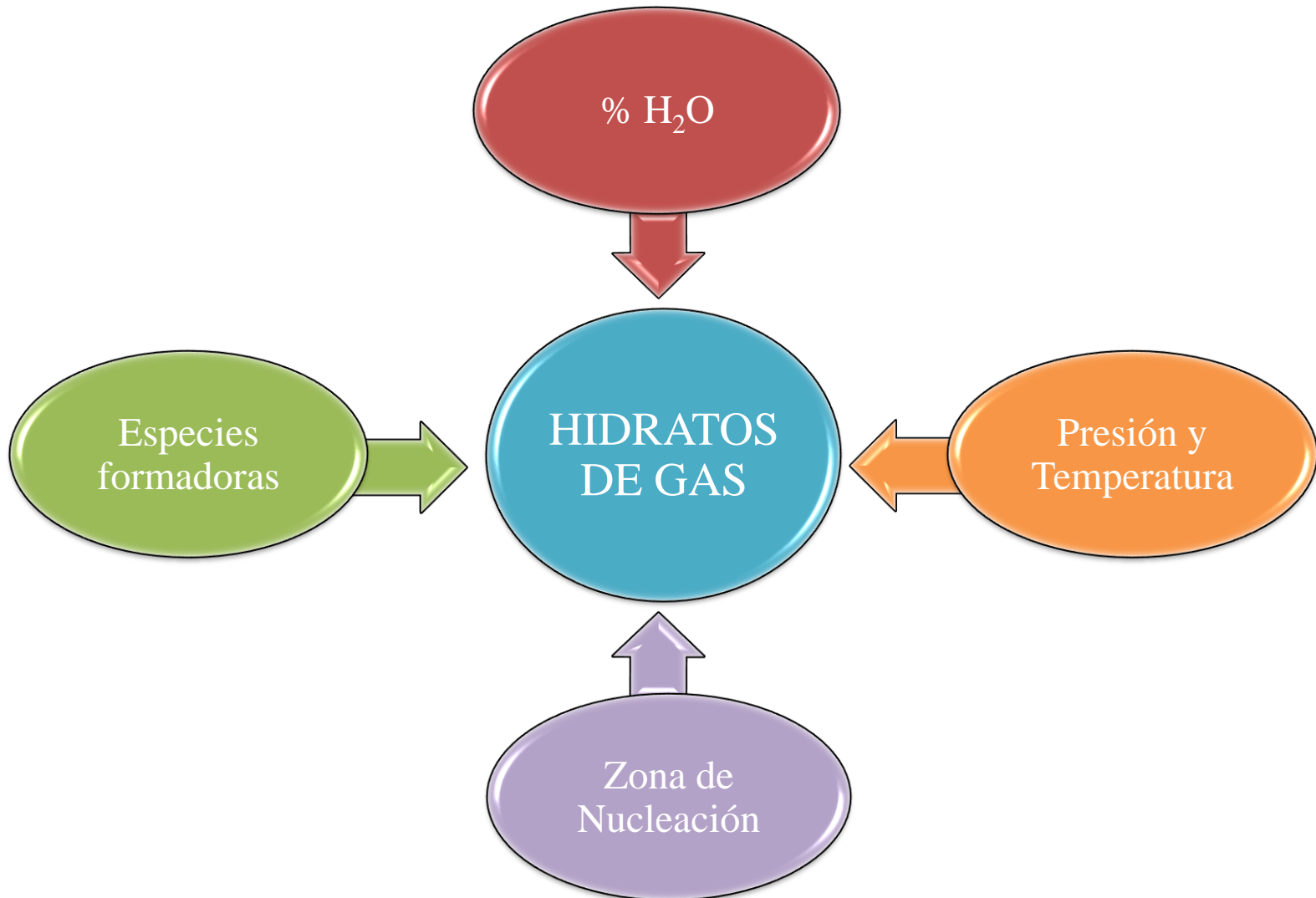
**Sulfuro de Hidrógeno**



**Dióxido de Carbono**

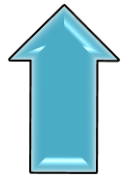


# ¿CÓMO SE FORMAN LOS HIDRATOS?





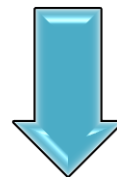
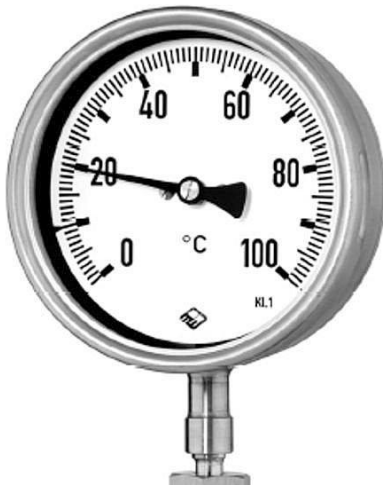
## Presión y Temperatura



Altas Presiones



$P \geq 3 \text{ Bar}$

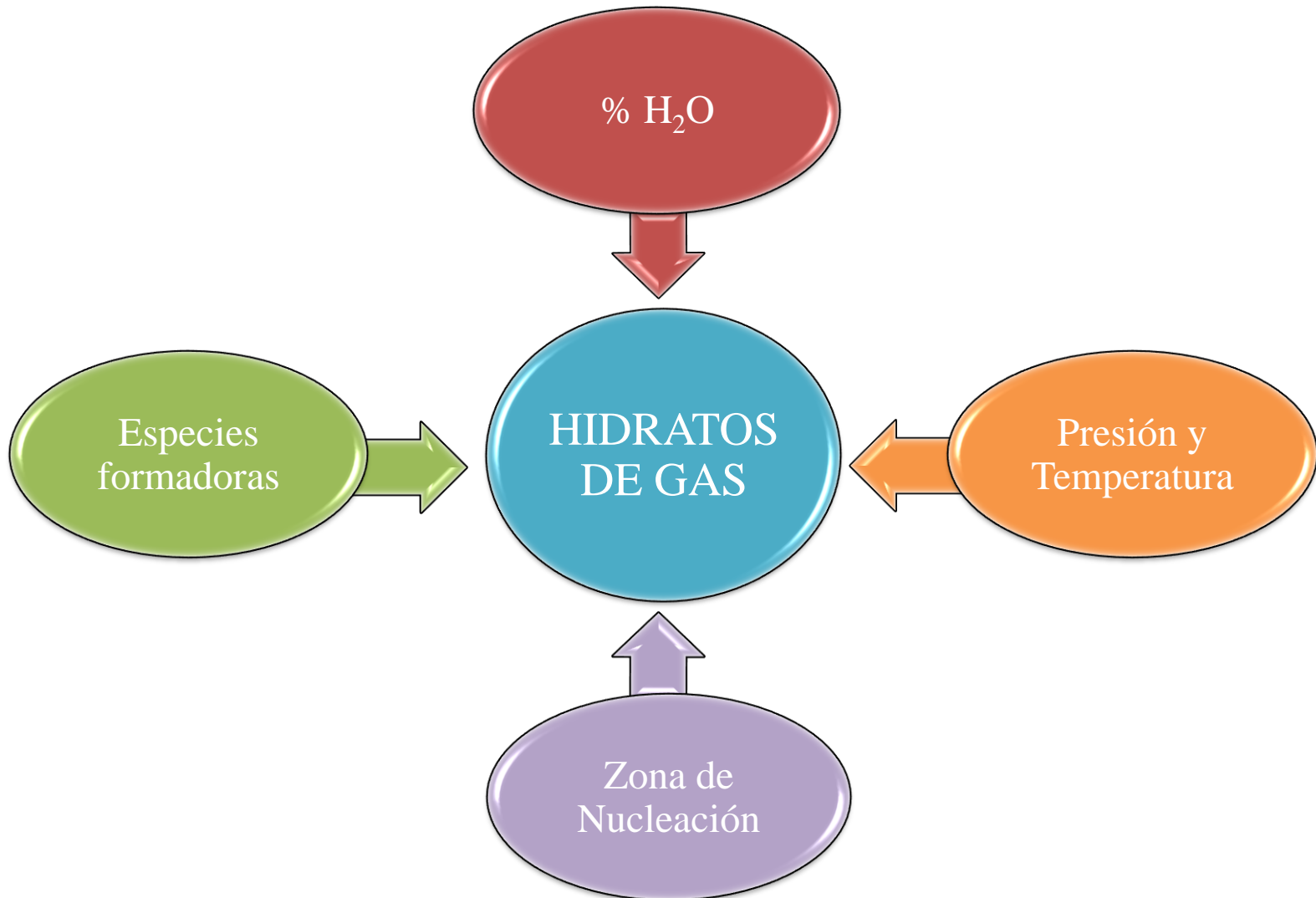


Bajas Temperaturas

$270 \geq T \geq 310 \text{ K}$



# ¿CÓMO SE FORMAN LOS HIDRATOS?





## Corte de Agua

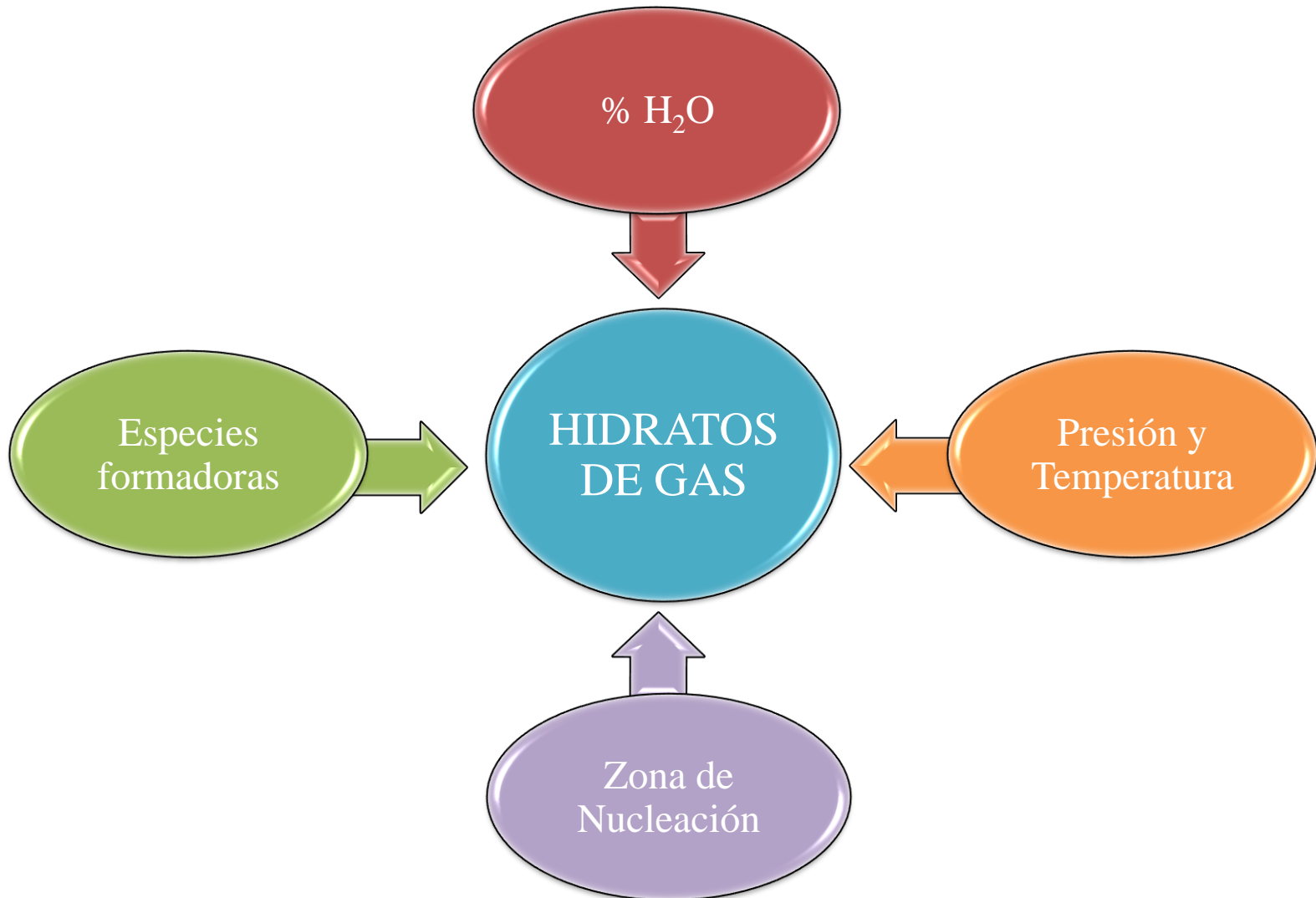
Tabla N 1.- Datos de composición molar del Gas Natural

Componentes del Gas Natural	Composición Molar (%)
CH <sub>4</sub>	85
CO <sub>2</sub>	2.5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	11
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1
H <sub>2</sub> O	0.5

Fuente: (Ming Wu y col , 2006).

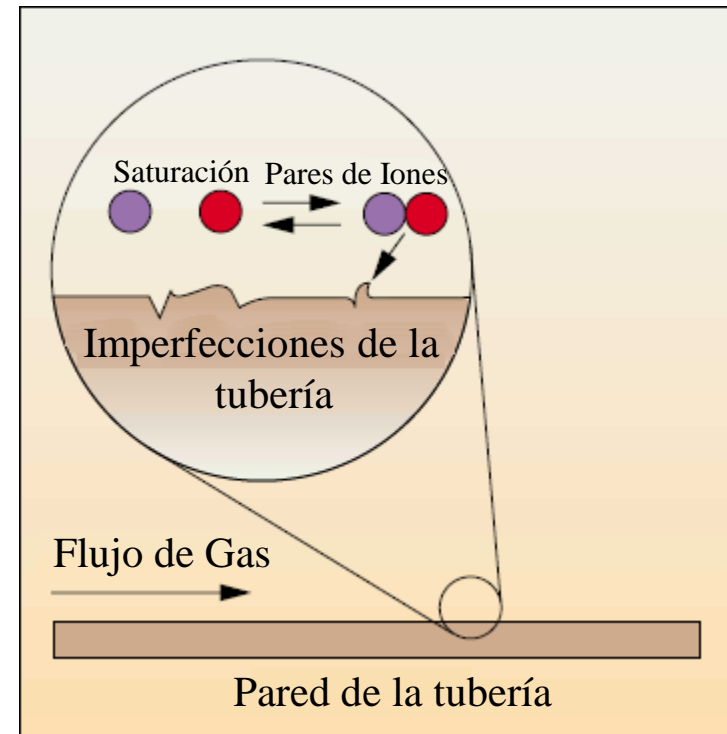
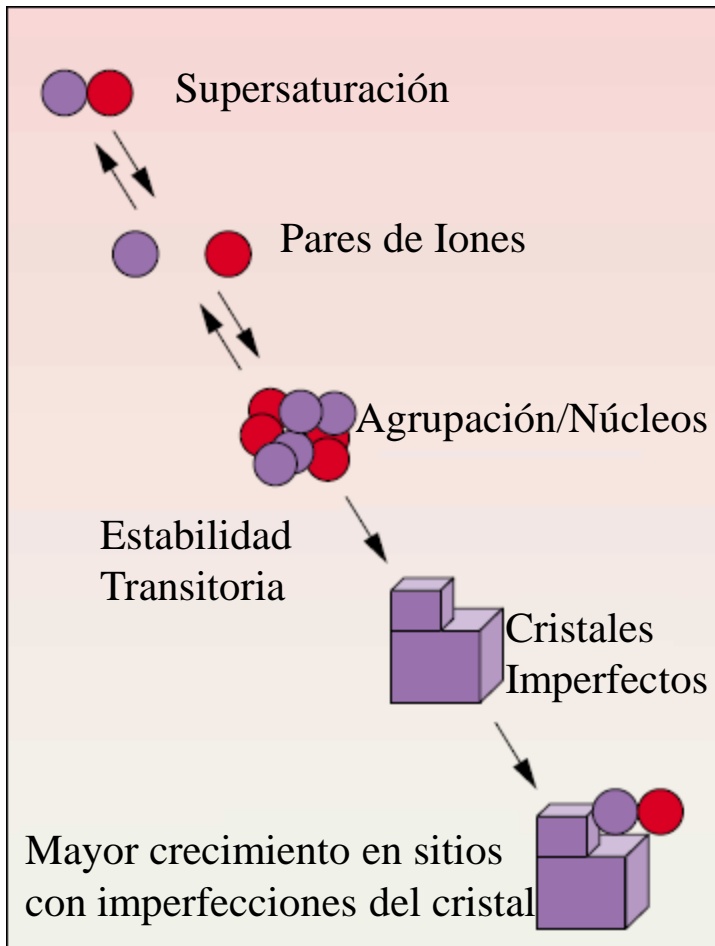


# ¿CÓMO SE FORMAN LOS HIDRATOS?





# Nucleación





# Especificaciones de Gasoductos

**Tabla 3**

*Condiciones de salida del gasoducto terrestre\*\**

<i>Parámetro</i>	<i>Condiciones de salida del gasoducto terrestre</i>
Presión, kPa	8800
Temperatura, °C	60
Flujo, m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	2.0 E 7
Longitud total, km	91.33
Diámetro, m	0.914
Aislante	NO
Elevación, m (máx., min.)	5.55, -4.5



# Especificaciones de Gasoductos

**Tabla 4**

*Condiciones de salida en el gasoducto marino\*\**

<i>Parámetro</i>	<i>Condiciones de llegada del gasoducto marino</i>
Presión, kPa	4000
Temperatura, °C	28
Flujo, m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	3.0 E 7
Longitud total, km	83
Diámetro, m	0.914
Aislante	Lastre
Elevación, m (máx., min.)	47.5, 0.0

\*\* Datos operativos promedio 2003 (PEP Pemex Explotación y Producción, en PEMEX, 2005)



# METODOLOGÍA

## Datos de entrada al Reactor de Equilibrio para Distintas $K_{eq}$

T(°C)	T(K)	P(MPa)	$K_{eq}$	$Z_{H_2O}$
0,00	273,15	2,60	2,2026E+04	0,05
0,00	273,15	2,60	5,9874E+04	0,05
0,00	273,15	2,60	2,6834E+05	0,05
0,00	273,15	2,60	3,2690E+06	0,05
0,00	273,15	2,60	3,9825E+07	0,05
0,00	273,15	2,60	4,8517E+08	0,05
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,05
0,00	273,15	2,60	2,6881E+43	0,05



# METODOLOGÍA

**Datos de entrada al Reactor de Equilibrio. Variación de las condiciones de Presión y Temperatura**

<b>T(°C)</b>	<b>T(K)</b>	<b>P(MPa)</b>	<b>Keq</b>	<b>Z<sub>H2O</sub></b>
-10,75	262,4	1,78	2,5132E+11	0,05
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,05
2,5	275,65	3,31	2,5132E+11	0,05
5	278,15	4,26	2,5132E+11	0,05
7,5	280,65	5,53	2,5132E+11	0,05
10	283,15	7,25	2,5132E+11	0,05



# METODOLOGÍA

**Datos de entrada al Reactor de Equilibrio empleados para las distintas alimentaciones de agua**

<b>T(°C)</b>	<b>T(K)</b>	<b>P(MPa)</b>	<b>Keq</b>	<b>Z<sub>H2O</sub></b>
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,01
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,02
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,03
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,04
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,05
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,10
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,20



# METODOLOGÍA

**Datos de entrada al Reactor de Equilibrio empleados para una alimentación de agua de 0,01 en fracción molar**

<b>T(°C)</b>	<b>T(K)</b>	<b>P(MPa)</b>	<b>Keq</b>	<b>Z<sub>H2O</sub></b>
0,00	273,15	2,60	2,2026E+04	0,01
0,00	273,15	2,60	5,9874E+04	0,01
0,00	273,15	2,60	2,6834E+05	0,01
0,00	273,15	2,60	3,2690E+06	0,01
0,00	273,15	2,60	3,9825E+07	0,01
0,00	273,15	2,60	4,8517E+08	0,01
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,01
0,00	273,15	2,60	9,61966E+14	0,01
0,00	273,15	2,60	2,6881E+43	0,01



# METODOLOGÍA

**Datos de entrada al Reactor de Equilibrio empleados para una alimentación de agua de 0,10 en fracción molar**

<b>T(°C)</b>	<b>T(K)</b>	<b>P(MPa)</b>	<b>Keq</b>	<b>Z<sub>H2O</sub></b>
0,00	273,15	2,60	2,2026E+04	0,10
0,00	273,15	2,60	5,9874E+04	0,10
0,00	273,15	2,60	2,6834E+05	0,10
0,00	273,15	2,60	3,2690E+06	0,10
0,00	273,15	2,60	3,9825E+07	0,10
0,00	273,15	2,60	4,8517E+08	0,10
0,00	273,15	2,60	5,9105E+09	0,10
0,00	273,15	2,60	6,2136E+09	0,10
0,00	273,15	2,60	2,5132E+11	0,10
0,00	273,15	2,60	2,6881E+43	0,10