

**SIMULACIÓN DE LA PURIFICACIÓN DE OXIGENO DEL AIRE POR MEDIO
DE ADSORCIÓN CON ZEOLITAS**

**WILLIAM DAVID HERNÁNDEZ CARRILLO
JUAN DE LA CRUZ SEPÚLVEDA ÁLVAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA, SANTANDER**

2018

**SIMULACIÓN DE LA PURIFICACIÓN DE OXIGENO DEL AIRE POR MEDIO
DE ADSORCIÓN CON ZEOLITAS**

WILLIAM DAVID HERNÁNDEZ CARRILLO

JUAN DE LA CRUZ SEPÚLVEDA ÁLVAREZ

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Químico

DIRECTOR:

GIOVANNI MORALES MEDINA

Ingeniero Químico, Dr. En ING Química.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA, SANTANDER**

2018

DEDICATORIA

Primeramente, al ser espiritual quien ha guiado y dirigido el rumbo de mi vida siempre (DÍOS), por darme la oportunidad de cumplir el sueño de toda mi vida, por darme fortaleza en los momentos cuando las fuerzas humanas ya no respondían, por regalarme la motivación diaria para querer crecer en conocimiento y como persona en cada momento, por regalarme la oportunidad de nacer y crecer en el mejor país del mundo.

A mi familia por ser la máxima bendición de mi vida. A mis padres Marcos Fidel Sepúlveda Pinzón e Gloria Inés Álvarez Suarez por enseñarme los valores fundamentales de una persona, por su apoyo incondicional, por su confianza en mi proyecto de vida, por su sacrificio y esfuerzo durante todos estos años.

A mis hermanos por ser un apoyo y motivación diaria, en especial a Marcos Leonardo, Marisol quienes han sido una motivación y un apoyo inmenso, a los cuales no les ha importado renunciar a sus sueños por ayudarme a alcanzar los míos.

A mi sobrinita Dexy carolina por ser la bendición de mi familia por su cariño.

A mi compañero de tesis David Hernández por su dedicación en el proyecto, y por su amistad.

A todos mis amigos tanto de la universidad, del colegio y a los amigos de toda la vida pues fueron super importantes en mi formación, por entender las prioridades de mi vida.

A mis profesores quienes me han transmitido su conocimiento y sus valores éticos.

A la universidad UIS pues sin ella mi sueño nunca hubiera podido llevarse a cabalidad. Infinitas gracias a todos.

Juan de la Cruz Sepúlveda Álvarez.

DEDICATORIA

A Dios por enseñarme cada día algo nuevo, porque el principio de la sabiduría es el temor a él.

A mi hermano Daniel, por su compañía de siempre.

A mi hermana Tatiana, por su lucha incansable y su amor por mí.

A mis padres a quienes amo, admiro y respeto más que a nadie en la vida y a quienes nunca podre corresponder todo su esfuerzo.

A mi familia por su unidad y apoyo.

A mis amigos por ser parte de un recuerdo y construir valores que me sirvieron en el proceso de elaboración de este libro.

A la universidad por permitirme afianzar mis conocimientos, por las exigencias en sus profesores que estuvieron aportando gran parte de su tiempo en fortalecer nuestras capacidades y fueron soporte fundamental en este libro.

William David Hernández Carrillo

ABREVIATURAS

Peso Molecular [gr/mmol]	M_g
Temperatura [k]	T
Presión [gr/cm*seg]	P
Constante universal de los gases [gr*cm ² /k*mmol*seg ²]	R
Número de moles [mmol]	n
Tiempo[seg]	t
Temperatura estándar (298 K)	T
Velocidad superficial [cm/seg]	v_s
Porosidad []	ϵ
Longitud del lecho [cm]	L
Fracción molar []	Y
Densidad del lecho [gr/cm ³]	ρ_b
Densidad de fase gaseosa [mmol/s ³]	ρ_g
Factor de turtuosidad []	τ
Viscosidad dinámica en fase gas [gr/cm*s]	μ
O2 calor isostérico de adsorción[cal/mmol]	q
Flujo masivo de gas en la alimentación, valor absoluto[mmol/cm ² *s]	Q
Difusividad molecular efectiva [cm ² /s]	D_{em4}
Coeficiente de dispersión axial de masa [cm ² /s]	D_L
Posición axial [cm]	Z
Diametro de poro [cm]	d_p
Área [cm ²]	A
Difusividad efectiva de knudsen	$D_{eK,i}$
Fracción de vacio en la particula	ϵ_p
Fracción de recubrimiento	θ
Cantidad específica de equilibrio de i adsorbido en fase sólida	n_i^∞

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	25
Objetivo general	25
Objetivos específicos	25
2.METODOLOGÍA.	26
2.1 REVISIÓN REFERENCIAS:	26
2.2 DEFINICIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA SIMULAR EL TANQUE DE ADSORCIÓN DEL PROCESO PSA:	27
2.3 PLANTEAMIENTO DEL ALGORITMO DE SOLUCIÓN PARA EL MODELO DEFINIDO:	
2.4 CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE SOLUCIÓN EN EL LENGUAJE MATLAB:	27
2.5 VALIDACIÓN DEL CÓDIGO GENERADO:	27
3.RESULTADOS.....	28
3.2 ALGORITMO DE SOLUCIÓN Y CÓDIGO EN MATLAB.....	29
3.3 PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL CÓDIGO DE SIMULACIÓN.	32
4.CONCLUSIONES	54
5.RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas del proceso PSA.	18
Figura 2. Estructuras típicas de zeolitas a) Celda sodalita, b) Tipo A, c) Tipo X.	19
Figura 3. Modelo de predicción LDF.	23
Figura 4. Esquema metodológico.....	26
Figura 5. Volumen de control.	28
Figura 6. Descripción del Algoritmo de la rutina principal.	31
Figura 7. Descripción del Algoritmo de la rutina mol.	32
Figura 8. Fracción de oxígeno de salida del lecho presentada por Choung et al.	33
Figura 9. Fracción de oxígeno de salida del lecho presentada por Beeyani et al.	36
Figura 10. Simulaciones con las diferentes difusividades propuestas.	39
Figura 11. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 5 comparativo con el ajuste 5*, por Choung et al ¹⁹	47
Figura 12. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 6 comparativo con el ajuste 6*, Beeyani et al ²⁰	48
Figura 13. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 22* y 23* para los parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰ . Donde 22* corresponde a las $k_1 = 50000 S - 1$, $k_2 = 50000 S - 1$ y 23* $k_1 = 5,0000e-$ $10S - 1$ $k_2 = 5,0000e-10 S - 1$	49
Figura 14. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 23* y 24* para los parámetros propuestos por Choung et al. ¹⁹ Donde 23* corresponde a las $k_1 = 50000 S - 1$, $k_2 = 50000 S - 1$ y 24* $k_1 = 5,0000e-$ $10S - 1$, $k_2 = 5,0000e-10 S - 1$	50
Figura 15. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la adsorción en el artículo Choung et al. ¹⁹ (Caudal de salida).	51

Figura 16. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la purga en parámetros propuestos por Choung et al.¹⁹ (fracción de salida).....**52**

Figura 17. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la adsorción en parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰ (fracción de salida).....**52**

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros propuestos por Choung et al.	32
Tabla 2. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para los parámetros propuestos por Choung et al.	34
Tabla 3. Parámetros propuestos por Beeyani et al.	36
Tabla 4. Valores cinéticos, de las diferentes simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani et al.	37
Tabla 5. ejemplo de cálculo para cada error porcentual. Simulación 1 con parámetros propuestos por Choung et al.	45
Tabla 6. valores de los errores porcentuales promedio, todas estas simulaciones con ajuste en la constante de la isoterma de Langmuir para los parámetros propuestos por Choung et al.	45
Tabla 7. valores de los errores promedio, todas las simulaciones con ajuste en la constante de la isoterma de Langmuir para los parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰	46
Tabla 8. Datos que arrojan las curvas de avance de los parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰	61
Tabla 9. Datos que arrojan las curvas de avance del los parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹	61
Tabla 10. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para los parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹	63
Tabla 11. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰	65
Tabla 12. Simulaciones para parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹	67
Tabla 13. simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰	74
Tabla 14. Simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹	76
Tabla 15. Simulaciones con el ajuste en la isoterma los parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰	80

Tabla 16. Tiempos calculados partir de las fracciones en las simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹ .	84
Tabla 17. Tiempos calculados partir de las fracciones en las simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰ .	86
Tabla 18. Error para la simulación 5 con ajuste en la isoterma con los parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹ .con 1001 nodos en el tiempo y 151 nodos en el espacio.	88
Tabla 19. Error para la simulación 6 con ajuste en los parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰ . con 1001 nodos en el tiempo y 151 nodos en el espacio.	88
Tabla 20. Errores porcentuales basados en el tiempo, parámetros propuestos por Choung et al ¹⁹ .	89
Tabla 21. Errores porcentuales basados en el tiempo, parámetros propuestos por Beeyani et al ²⁰ .	91
Tabla 22. bibliografía de los artículos con parámetros para simular.	135

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. TOMA DE DATOS DE LOS ARTICULOS.	61
ANEXO B. CINETICA DE LAS SIMULACIONES.	63
ANEXO C. DATOS ARROJADOS POR LAS SIMULACIONES.....	66
ANEXO D. DATOS DE LAS SIMULACIONES CON EL AJUSTE EN LA	76
ANEXO E. PORCENTAJE DE ERROR POR DESFASE EN EL TIEMPO.	82
ANEXO F. CÓDIGO USADO LOS PARÁMETROS PROPUESTOS POR CHOUNG ET AL ¹⁹ .Y PARÁMETROS PROPUESTOS POR BEEYANI ET AL ²⁰	93
ANEXO G. BIBLIOGRAFIA DE LOS ARTICULOS.	135

RESUMEN

TITULO: SIMULACIÓN DE LA PURIFICACIÓN DE OXIGENO DEL AIRE POR MEDIO DE ADSORCIÓN CON ZEOLITAS*

AUTORES: WILLIAM DAVID HERNANDEZ CARRILLO
JUAN DE LA CRUZ SEPULVEDA ALVAREZ**

PALABRAS CLAVES: ADSORCION, SISTEMA ISOTERMICO.

DESCRIPCIÓN: En el presente trabajo se modificó un código con el fin de simular el proceso, de adsorción en un tanque de purificación de oxígeno medicinal por medio del método PSA (adsorción con cambios de presión), para la separación de oxígeno del aire usando una zeolita 5A. Se realizaron los respectivos balances necesarios para tener en cuenta en el algoritmo, el modelo cinético utilizado fue debidamente estudiado a partir de la literatura, una vez se obtuvo el algoritmo se simuló con datos y propiedades de la zeolita 5A encontrados en la literatura, los resultados fueron comparados con artículos científicos, que proponían parámetros iniciales, parámetros de alimentación y dimensiones del lecho. Al comparar las simulaciones con las curvas de avance presentadas en la literatura se observa que siguen una tendencia similar aunque desfasadas en el tiempo, por lo que se ajusta a partir de la isoterma de Langmuir que describe la transferencia de masa en el equilibrio del sistema, se escoge unas constantes y términos cinéticos que acerquen más las curvas de avance a las que se quiere simular, en base a un error calculado a partir de las curvas de avance que estas muestran esto para generalizar el algoritmo ante los parámetros presentados por los artículos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería química. Director: I.Q., Dr. Giovanni Morales Medina

ABSTRACT

TITLE: SIMULATION OF AN AIR OXYGEN PURIFICATION TANK BY ADSORTION WITH ZEOLITES*

AUTHORS: WILIAM DAVID HERNANDEZ CARRILLO

JUAN DE LA CRUZ SEPULVEDA ÁLVAREZ**

KEYWORDS: ADSORTION, ISOTHERMIC SYSTEM.

DESCRIPTION:

In the present work, a code was modified in order to simulate the process of adsorption in a medicinal oxygen purification tank by means of the PSA method (adsorption with pressure changes), for the separation of oxygen from the air using a 5A zeolite. The necessary changes were made to the algorithm, the kinetic model was studied from the literature, the algorithm with data and properties of the 5A zeolite found in the literature was obtained, the results were compared with the scientific articles, which proposed initial parameters, feeding parameters and bed dimensions. When comparing the simulations with the advance curves presented in the literature, it is observed that they follow a similar trend although out of phase in time, so it fits from the Langmuir isotherm of which refers to the mass transfer in the equilibrium of the system. Is chosen constants and kinetic terms that approximate the advance curves to which we want to simulate, based on an error calculated from the advance curves that show this to generalize the algorithm before the parameters presented by the articles.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Engineering Physicochemical School Engineering Chemical Director: Giovanni Morales Medina, Ch.E., Dr.

INTRODUCCION

El oxígeno de alta pureza es un insumo de importancia en diferentes sectores como el metalmecánico y el de la salud¹. Una forma eficiente y económica de obtención de oxígeno de alta pureza corresponde a la técnica de separación denominada PSA (*pressure swing adsorption*), la cual se fundamenta en la separación por fisisorción utilizando un material adsorbente. A pesar de la importancia que presenta la generación de oxígeno de alta pureza, los trabajos direccionados al análisis de la técnica PSA por simulación son escasos. El presente trabajo establece una simulación, a partir de ecuaciones de balance, para tanques de adsorción de procesos PSA reportados en la literatura abierta.

En la técnica PSA, el aire ambiental es comprimido, secado y filtrado antes de entrar a los tubos de proceso. Este aire pre-tratado es llevado a un tanque conteniendo un tamiz molecular de zeolita (ZMS), por el cual la mayoría del oxígeno pasa mientras el nitrógeno y otros gases son adsorbidos a una presión de ca (alrededor de 2 atm). El proceso es interrumpido cuando el ZMS llegue a saturación¹. El ZMS saturado es regenerado por reducción de la presión para la liberación de los gases adsorbidos a presión ambiente o una atmosfera; en la mayoría de los sistemas, los gases desorbidos son ventilados a la atmósfera. El ciclo completo adsorción-regeneración es repetido, alcanzando un régimen de balanceo de presiones. Como resultado de este proceso se obtiene gas oxígeno con una pureza de alrededor del 95.0%².

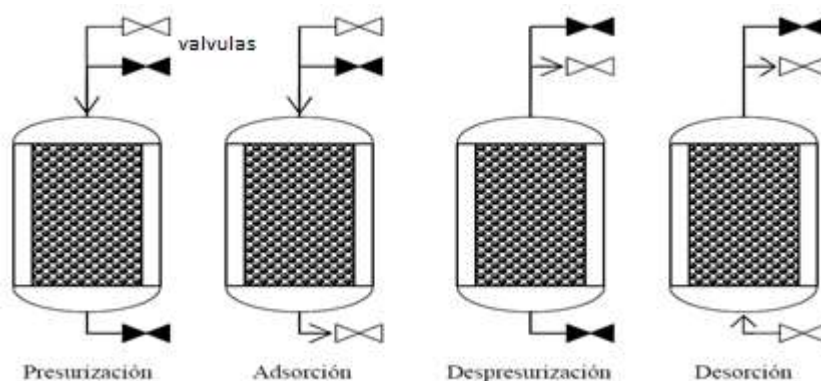
En la Figura 3 se presenta un esquema de la unidad PSA, Producción-Regeneración. El sistema cuenta con 4 válvulas que permiten el paso de

¹ Indura grupo air products." Manual de gases soluciones tecnológicas con gases y soldaduras para un mundo de procesos" 2017. [Online]. Available: <http://www.cryogas.com.co>. [Accessed: 3-Sep-2017].

² GIL, Villalta; MISRAÍN, Max; SARAVIA FUENTES, Fátima María. Consultoría para el Hospital general del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS) sobre la generación de oxígeno medicinal por el método de adsorción por balanceo de presión. 2016. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador.

alimento a uno de los lechos y realizan la conexión del segundo lecho al sistema de vacío para dar lugar a la regeneración (las válvulas cerradas se representan en negro y las abiertas en blanco ver Figura 1. Un sistema de 3 válvulas, ubicado debajo de las columnas, permite utilizar parte del producto en la regeneración del segundo lecho, lo que da lugar a una corriente de oxígeno y nitrógeno que se recircula a la etapa de rectificación. Durante la presurización se permite el ingreso de alimento hasta que se alcanza la presión de adsorción, por lo que las demás válvulas deben estar cerradas. Posteriormente, en la etapa de adsorción se abre la válvula que permite retirar el producto. Cuando el lecho se satura, se conecta el sistema de vacío y se cierran las demás válvulas para dar paso a la regeneración, la cual se efectúa con un flujo de oxígeno a contracorriente a través del lecho saturado.

Figura 1. Etapas del proceso PSA.



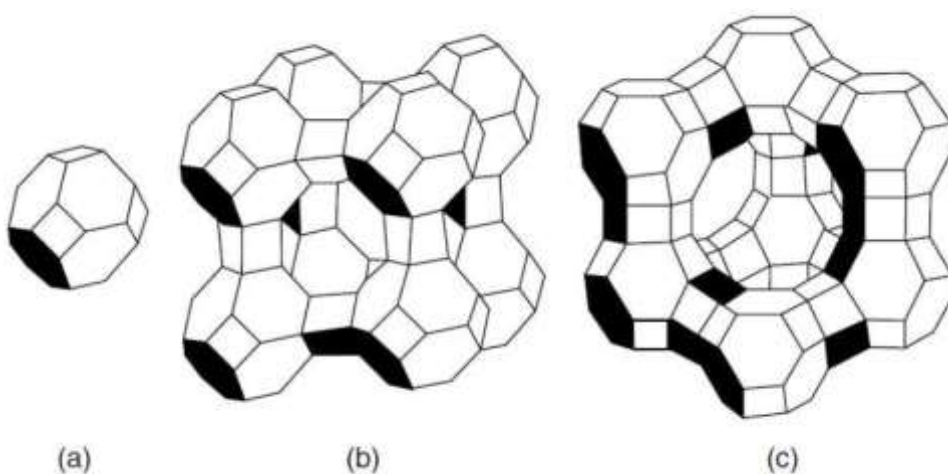
Fuente: Rivera Guerrero, Andrés Felipe, et al. Desarrollo y aplicación de un modelo computacional del arranque y operación de un proceso de adsorción por cambios oscilatorios de presión para la deshidratación de etanol azeotrópico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. p. 26..

El material adsorbente más utilizado en PSA es la zeolita, la cual exhibe una afinidad fuerte con el nitrógeno con el aumento en la presión; asimismo, la zeolita presenta gran área superficial, un rango estrecho de tamaño de poro (tamiz

molecular), regeneración sencilla y una resistencia mecánica suficiente para el rango de presiones del proceso. Otros materiales adsorbentes utilizados en PSA son alúmina activada, sílica gel y carbones activados (incluidos tamices moleculares de carbón) ³.

Por otra parte, la separación del nitrógeno del aire se da por los mecanismos termodinámico, cinético y estérico. La separación termodinámica se presenta por la afinidad entre la superficie del material y las moléculas del adsorbato, mientras que, la separación cinética obedece a las diferentes velocidades de difusión a través de la matriz sólida. La separación estérica se fundamenta en las diferencias en tamaño y configuración espacial para permitir o no el ingreso de moléculas en los microporos. En las zeolitas, el tamaño de poro permite una separación eficiente por impedimentos estéricos. La Figura 2 muestra representaciones de la estructura de algunas zeolitas donde cada vértice corresponde a un átomo de silicio o de aluminio y las aristas son átomos de oxígeno; las zeolitas más frecuentemente utilizadas son las tipo A y X, las cuales exhiben tamaños de cristal de 10 μm y se aglomeran con arcillas ligantes³.

Figura 2. Estructuras típicas de zeolitas a) Celda sodalita, b) Tipo A, c) Tipo X.



Fuente: Rivera Guerrero, Andrés Felipe, et al. Desarrollo y aplicación de un modelo computacional del arranque y operación de un proceso de adsorción por cambios oscilatorios de presión para la deshidratación de etanol azeotrópico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. p. 26.

A nivel industrial, las columnas empacadas empleadas tienen alturas de 7 m y diámetros cercanos a los 2 m. Los lechos están constituidos por partículas adsorbentes de forma esférica con diámetros cercanos a 3 mm, con lo cual, la cantidad de adsorbente requerido es cercana a 17 ton (10^9 partículas)³. A nivel financiero, los estudios de mercado del método PSA demuestran la sostenibilidad económica para su implementación en mediana y gran escala; la inversión de capital puede ser recuperada en muchos casos a partir del segundo año; su implementación en hospitales del país reporta que el método PSA conlleva a la generación de oxígeno medicinal con ahorros de ca. 50% respecto a la compra de este medicamento generado por el método criogénico³:

En lo referente al estado del arte, la técnica PSA se convirtió en un proceso de separación comercial con las patentes de Guerin de Montgareuil (Patente francesa N° 1.233.261) y Skarstrom (Patente de Estados Unidos N° 2.944.627) en 1957 y 1960 respectivamente. En 1964, la tecnología PSA fue utilizada por primera vez para separar el oxígeno del aire⁴. En 1977, *Air Products* patentó una unidad PSA para la producción simultánea de oxígeno y nitrógeno del aire⁵. Hayashi *et al.*, en 1985 (Patente de Estados Unidos N° 4.529.412), patentaron un sistema PSA combinado para la producción de oxígeno con una pureza

³ RAMÍREZ NIETO, Raúl. Evaluación de los beneficios de la producción de oxígeno medicinal del Hospital Universitario La Samaritana de Bogotá, por el Sistema PSA (Adsorción por Fluctuaciones de Presión). Estimación de posibles efectos en el sector de la salud, Bogotá, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo lozano. 2008, p.15,28..p.

⁴ HEALTHCARE." Gases medicinales para análisis cardiopulmonar,"2017. [Online]. Available: http://www.linde-healthcare.es/es/about_linde_healthcare/index.html. [Accessed: 4-Sep-2017].

⁵ SIRCAR ,S, et al. Pressure Swing Adsorption Technology, Adsorption: Science and Technology. In: NATO ASI Series, vol. 158, 1989, pp. 285–320.

superior al 95%. Este sistema está hecho de dos unidades de PSA en serie; la primera unidad elimina el nitrógeno por adsorción con zeolita, mientras que la segunda aplica un tamiz molecular de carbono para separar el argón. Igualmente, Tsuru y Hwang⁶ propusieron una combinación entre PSA y la tecnología de membrana para producir oxígeno libre de argón.

Respecto a análisis experimentales y por modelado, Fernández et al⁷ analizaron un sistema PSA utilizando la aproximación denominada fuerza motriz lineal LDF (linear driving force) para la transferencia de masa intrapartícula y una isoterma bicomponente tipo Langmuir. También, asumieron un comportamiento isotérmico, una caída de presión nula, una presurización y regeneración lineales y un flujo tapón disperso axial en los tanques. Según los resultados, estos autores concluyeron que la pureza del producto presenta un máximo en función del tiempo de ciclo, exhibe un aumento con la presión de producción y es independiente del caudal del producto. Respecto a la regeneración de la zeolita, Fernández *et al.*, afirman que la recuperación presenta un máximo en función del tiempo de ciclo, disminuye cuando la presión de producción aumenta y aumenta con el caudal del producto. Asimismo, Liow y Kenney⁸ reportan un análisis del avance en un lecho del ciclo de PSA para la separación de oxígeno del aire. Utilizaron partículas de zeolita 5A con poros de tamaño medio de 800 nm y diámetros entre 2,8 y 4 mm. Estos autores propusieron un modelo para los pasos isobáricos (adsorción y desorción), y otro para los pasos no isobáricos (presurización y despresurización). Para ambos modelos, asumieron que la presión total dentro y fuera del adsorbente era la misma⁹.

⁶ TSURU, Toshinori; HWANG, Sun Tak. Production of high-purity oxygen by continuous membrane column combined with PSA oxygen generator. *Industrial & engineering chemistry research*, 1994, vol. 33, no 2, p. 311-316

⁷ RUTHVEN, D. M.; FAROOQ, S. Air separation by pressure swing adsorption. *Gas Separation & Purification*, 1990, vol. 4, no 3, p. 141-148.

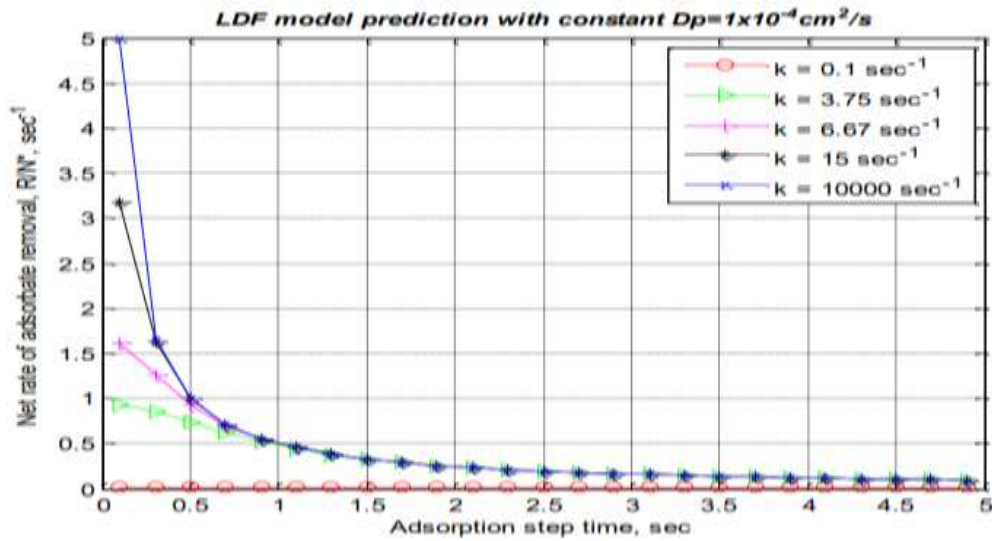
⁸ LIOW, Jong-Leng; KENNEY, C. N. The backfill cycle of the pressure swing adsorption process. *AIChE journal*, 1990, vol. 36, no 1, p. 53-65.

⁹ FAROOQ, S.; RUTHVEN, D. M.; BONIFACE, H. A. Numerical simulation of a pressure swing adsorption oxygen unit. *Chemical Engineering Science*, 1989, vol. 44, no 12, p. 2809-2816.

A nivel fenomenológico, la técnica PSA se basa en la separación del nitrógeno del aire para generar un flujo de oxígeno de alta pureza. El flux de nitrógeno en el material adsorbente se compone por dos términos: movimiento macroscópico del fluido y la difusión molecular axial. En el segundo mecanismo, el termino difusivo depende del coeficiente de difusión y de la composición molar del flujo. La dependencia cinética usualmente se toma como lineal según la aproximación LDF; la expresión lineal se basa en que el coeficiente cinético o de difusión depende de la difusividad global, el tamaño de la partícula (tamaño promedio de los pellets de zeolita en el lecho) y la forma geométrica del adsorbente. La Figura 3 ilustra la tasa neta de adsorción con respecto al tiempo, para diferentes coeficientes de transferencia de masa en un sistema PSA de referencia¹⁰; según esta figura, la adsorción decrece a medida que avanza la operación; para resistencias bajas a la transferencia de masa de adsorbato (k de 10000 s^{-1}), la tasa neta de eliminación de adsorbato presenta una caída de tipo exponencial. Por otro lado, para una gran resistencia a la transferencia de masa (k de $0,1 \text{ s}^{-1}$), existe ausencia de tasa neta de eliminación de adsorbato en el flujo de salida. Es importante mencionar, que para resistencias moderadas y bajas, la tasa de eliminación de adsorbato en el flujo de salida llega a un valor de equilibrio de $0,1 \text{ s}^{-1}$ en ca. 3 s.

¹⁰ CHAI, Siew Wah. Experimental Simulation of Rapid Pressure Swing Adsorption for Medical Oxygen Concentrator and Numerical Simulation of the Critical Desorption-by-Purge Step. 2011. Tesis Doctoral. Lehigh University.p.46-47., p.46-47.

Figura 3. Modelo de predicción LDF.



Fuente: CHAI, Siew Wah. Experimental Simulation of Rapid Pressure Swing Adsorption for Medical Oxygen Concentrator and Numerical Simulation of the Critical Desorption-by-Purge Step. 2011. Tesis Doctoral. Lehigh University. p.46-47., p.46.

El modelo (LDF) es en sí una forma de simplificar modelos relacionados con las ecuaciones de difusión-convección intrapartícula. También, la literatura presenta el modelo DGM (Dusty Gas Model) que puede verse como una asociación de tres mecanismos de transporte masivo: difusión molecular y Knudsen y flujo viscoso. Asimismo, se reportan un modelo semiempírico LDF-DG que es aproximación de LDF para un modelo intrapartícula complejo DGM¹¹ y un modelo riguroso¹² que asume la sección vacía del lecho como macro huecos (región de vacío que no ocupan los pellets en el lecho), en donde aplica balances de masa, de energía y la ecuación de equilibrio; en los micro huecos (región de vacío dentro de los pellets) el modelo complejo aplica el balance de masa y los mecanismos de transporte del modelo DGM.

¹¹ MENDES, A. M. M.; COSTA, C. A. V.; RODRIGUES, A. E. Linear driving force approximation for isothermal non-isobaric diffusion/convection with binary Langmuir adsorption. Gas separation & purification, 1995, vol. 9, no 4, p. 259-270.

¹² LIU, Yang; SUN, Fan. Parameter estimation of a pressure swing adsorption model for air separation using multi-objective optimisation and support vector regression model. Expert Systems with Applications, 2013, vol. 40, no 11, p. 4496-4502.

De otro lado, la isoterma de Langmuir relaciona la adsorción de moléculas en una superficie sólida con la presión o la concentración del medio que circunda la superficie sólida, a temperatura constante¹³. Según Langmuir, la superficie proporciona un cierto número de posiciones para la adsorción (todas son equivalentes); sólo se adsorbe una molécula sobre cada posición y su adsorción es independiente de la ocupación de las posiciones vecinas (*i.e.* las moléculas adsorbidas no interactúan entre sí). La isoterma de Langmuir describe la cantidad de moles adsorbidas en el equilibrio en el sólido en función de la presión, bajo una temperatura constante; esta ecuación es empírica y por lo tanto depende de constantes que se ajustan según el compartimiento del sistema (ecuaciones 1 y 2); en esta isoterma la presión es directamente proporcional a la cantidad de moles adsorbidas¹⁴.

$$n_{O_2}^{\infty} = \frac{KK1Py_{O_2}}{1 + KK2Py_{O_2} + KK3Py_{N_2}} \quad (E1)$$

$$n_{N_2}^{\infty} = \frac{KK4Py_{N_2}}{1 + KK2Py_{O_2} + KK3Py_{N_2}} \quad (E2)$$

¹³ LANGMUIR, Irving. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. Journal of the American chemical society, 1916, vol. 38, no 11, p. 2221-2295

¹⁴ DEPARTAMENTO DE QUÍMICA FÍSICA UNIVERSIDAD DE VALENCIA. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

1. OBJETIVOS

Objetivo general

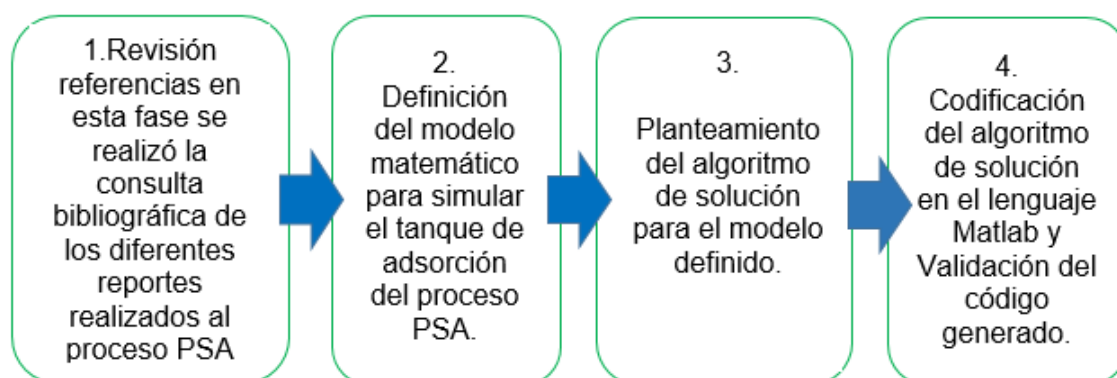
- Modelar y simular la operación de tanques de purificación de oxígeno del aire por medio de adsorción con zeolitas 5A.

Objetivos específicos

- Modelar un tanque de purificación de oxígeno del aire por medio de adsorción con zeolitas según los modelos disponibles en la literatura.
- Simular el proceso de adsorción utilizando código de MATLAB.
- Validar el modelo realizado y las simulaciones con datos reportados en la literatura.

2. METODOLOGÍA.

Figura 4. Esquema metodológico.



2.1 REVISIÓN REFERENCIAS: en esta fase se consultó la bibliografía acerca de los diferentes reportes realizados al proceso PSA; con esto se aclararon los fundamentos operativos para las etapas presurización, adsorción, despresurización y purga. Asimismo, la revisión fue conducida a los modelos matemáticos reportados para la simulación del proceso; se revisaron los modelos cinéticos de gas polvoriento DGM (Dusty Gas Model)¹⁵, fuerza motriz lineal LDF (Linear Driving Force)¹⁶, aproximación de la fuerza motriz lineal al modelo de gas polvoriento LDF-DG (Linear Driving Force- Dusty Gas)¹⁷ y el modelo riguroso¹³.

¹⁵ HAUGAARDS, Jesper; and LIVBJERG, Hans; "Models of pore diffusion in porous catalysts," Department of Chemical Engineering, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark, sHaldor Topsøe A/S, 2800 Lyngby, Denmark, Chem. E. ngJ., vol. 53,20,1998

¹⁶ CEN, Pei Ling; CHEN, Wei Niu; YANG, Ralph T. Ternary gas mixture separation by pressure swing adsorption: a combined hydrogen-methane separation and acid gas removal process. Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 1985, vol. 24, no 4, p. 1201-1208..

¹⁷ MENDES, Adélio MM; COSTA, Carlos AV; RODRIGUES, Alírio E. Oxygen separation from air by PSA: Modelling and experimental results: Part I: Isothermal operation. separation and purification technology, 2001, vol. 24, no 1-2, p. 173-188.

¹³ LIU, Op. Cit,p. 4496-4502.

2.2 DEFINICIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA SIMULAR EL TANQUE DE ADSORCIÓN DEL PROCESO PSA: en esta etapa se planteó el modelo matemático según las ecuaciones de balance, la ecuación de gas ideal, la aproximación de fuerza motriz lineal (LDF) y la isoterma de Langmuir; el modelo representó el fenómeno de adsorción de nitrógeno y la concentración de oxígeno en el aire a medida que se atraviesa el lecho de zeolita.

2.3 PLANTEAMIENTO DEL ALGORITMO DE SOLUCIÓN PARA EL MODELO DEFINIDO: un algoritmo computacional fue planteado para la solución del modelo de operación del tanque del proceso PSA.

2.4 CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE SOLUCIÓN EN EL LENGUAJE MATLAB: el código basado en el algoritmo de solución fue definido en Matlab para la simulación de la concentración de oxígeno en el aire y la interacción del nitrógeno con el material de zeolita 5A. La función solución para ecuaciones diferenciales denominado ode15s fue utilizado para la solución numérica del modelo.

2.5 VALIDACIÓN DEL CÓDIGO GENERADO: la validación del código generado en Matlab fue realizada por comparación con reportes de literatura conteniendo parte experimental y de simulación; esta validación involucró un análisis de la influencia de los parámetros de los mecanismos de adsorción.

1. RESULTADOS

3.1. DEFINICIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL TANQUE DE ADSORCIÓN DEL PROCESO PSA.

El modelo utilizado para representar la operación del tanque de adsorción con el material zeolita 5A fue definido por las siguientes ecuaciones:

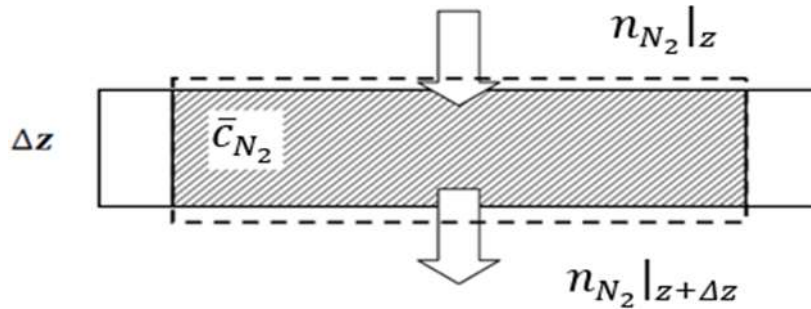
Modelo de gas ideal.

$$\rho_g = \frac{P}{RT} \quad (E3)$$

ley de Fick para modelar el flujo difusivo.³

$$n_{\text{dif}N_2} = - \frac{D_L \rho_g}{\partial Z} \frac{\partial Y_{N_2}}{\partial Z} \quad (E4)$$

Figura 5. Volumen de control.



Balance de componente

$$\varepsilon \frac{\partial (Y_{N_2}) * \rho_g}{\partial t} = \frac{\partial (Y_{N_2} * Q)}{\partial Z} - \frac{\partial (n_{N_2}) * \rho_g}{\partial t} + \varepsilon D_L \frac{\partial^2 (Y_{N_2}) * \rho_g}{\partial Z^2} \quad (E5)$$

Coefficiente de difusión³.

$$D_L = 0.7 D_{em4} + \frac{0.5 d_p Q}{\varepsilon \rho_g} \quad (E6)$$

³ Rivera Guerrero, Op. Cit, p.155-156.

³ Rivera Guerrero, Op. Cit, p.156.

Balance de presiones con la ecuación de Ergun³

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\frac{150\mu}{dp^2 * \rho_g} * \frac{1 - \varepsilon^2}{\varepsilon^3} * Q - \frac{1.75M_g}{dp * \rho_g} * \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} * Q^2 \quad (E7)$$

Cinética de adsorción, modelo LDF³

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_{LDF}(q^* - q) \quad (E8)$$

Coefficiente cinético³

$$K_{LDF} = \Omega * \frac{D_p}{r_p^2} \quad (E9)$$

Difusividad global³

$$D_p = \frac{1}{1/D_{eK,i} + 1/D_{em4}} \quad (E10)$$

Isoterma de Langmuir¹⁵

$$n_{O_2}^{\infty} = \frac{KK1Py_{O_2}}{1 + KK2Py_{O_2} + KK3Py_{N_2}} \quad (E1)$$

$$n_{N_2}^{\infty} = \frac{KK4Py_{N_2}}{1 + KK2Py_{O_2} + KK3Py_{N_2}} \quad (E2)$$

3.2 ALGORITMO DE SOLUCIÓN Y CÓDIGO EN MATLAB.

El algoritmo de solución del modelo matemático definido en la sección anterior está basado en el algoritmo planteado por Chai¹¹, el cual se enfoca en la etapa de purga. El algoritmo de Chai fue modificado para representar la etapa de adsorción de nitrógeno. El algoritmo de solución desarrollado plantea la solución

³ Ibid.,p.151-155

³ Ibid.,p.76.

³ Ibid.,p.76.

³ Ibid.,p.76.

¹⁵ DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Op. Cit, p.16.

¹¹ CHAI. Op. Cit.p.162-164.

del modelo por medio de una rutina que convierte las ecuaciones diferenciales parciales en ecuaciones ordinarias en el dominio del tiempo, mediante la discretización de los términos convectivos y difusivos; los principales procedimientos en esta rutina son:

- Asignación de las variables densidades y composiciones en vectores.
- Definición de condiciones de contorno para las fracciones de alimentación y la densidad de composición del gas de alimentación.
- Uso de las ecuaciones algebraicas (gas ideal, Ergun, difusividad e isoterma de Langmuir).
- Discretización de los términos convectivos para la solución del flujo en el lecho.
- Integración del balance por componentes con el flujo ya planteado y de la ecuación cinética LDF.

Asimismo, la rutina principal integra en el tiempo las ecuaciones diferenciales según las condiciones definidas. Las salidas del solucionador de ODE son matrices de variables en dominios temporales y espaciales. Los principales procedimientos en la rutina principal son:

- Lectura de los parámetros del sistema para las dimensiones del lecho, las condiciones iniciales y las de contorno.
- Definición de los nodos bases para la solución de las ecuaciones; se definieron 51 nodos para el espacio y 101 nodos para el tiempo.
- Comunicación con la función `ode15s` de Matlab.
- Reporte de resultados.

El algoritmo propuesto y el código desarrollado en Matlab para la solución del modelo pueden ser consultados en el anexo F. En la figura 6 y 7 se encuentra una breve descripción del algoritmo desarrollado.

Figura 6. Descripción del Algoritmo de la rutina principal.

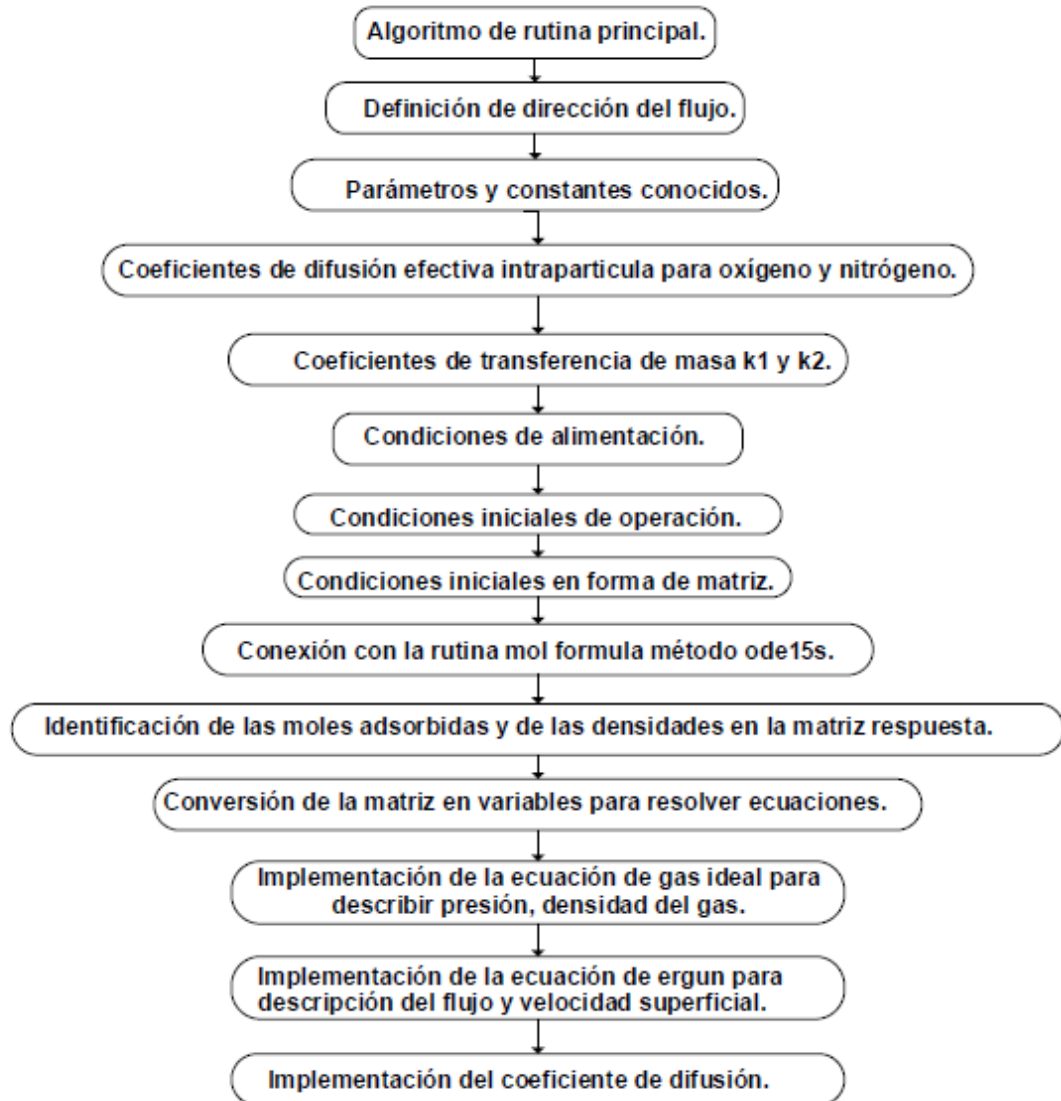
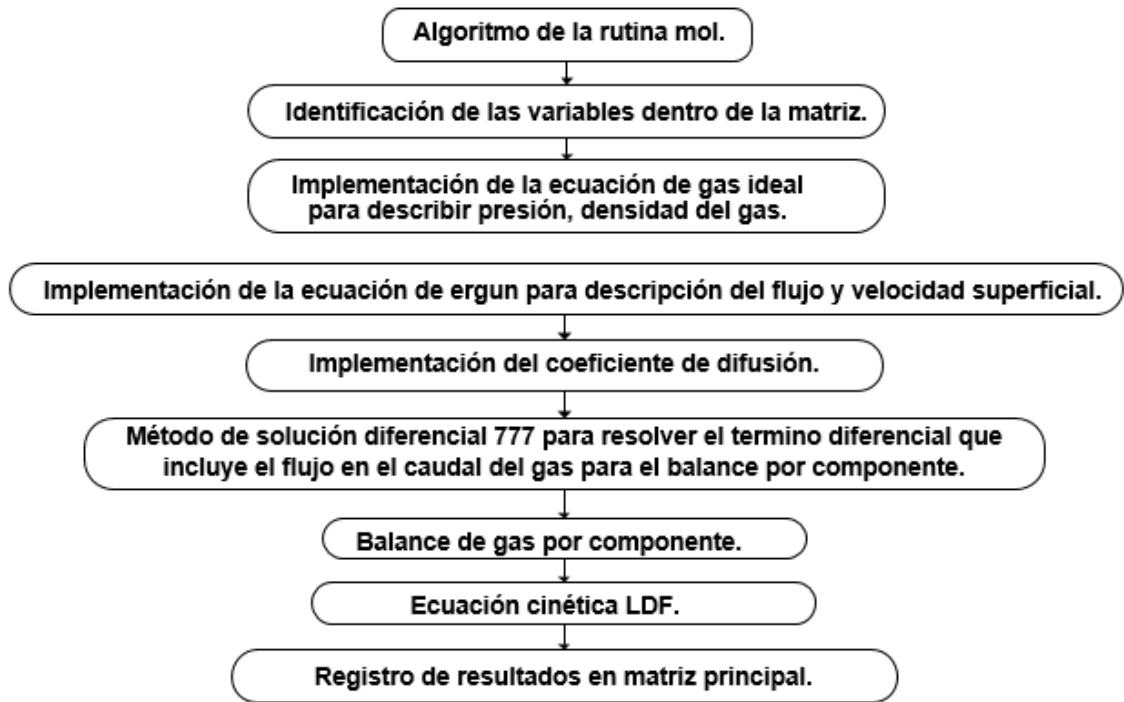


Figura 7. Descripción del Algoritmo de la rutina mol.



3.3 PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL CÓDIGO DE SIMULACIÓN.

El código de simulación desarrollado fue probado para los sistemas de purificación de aire descritos en los trabajos de Choung *et al.*¹⁸ y Beeyani *et al.*¹⁹. Para el primer trabajo, se utilizaron los parámetros físicos, condiciones iniciales según la Tabla 1 y los resultados a comparar de la Figura 8.

Tabla 1. Parámetros propuestos por Choung *et al.*

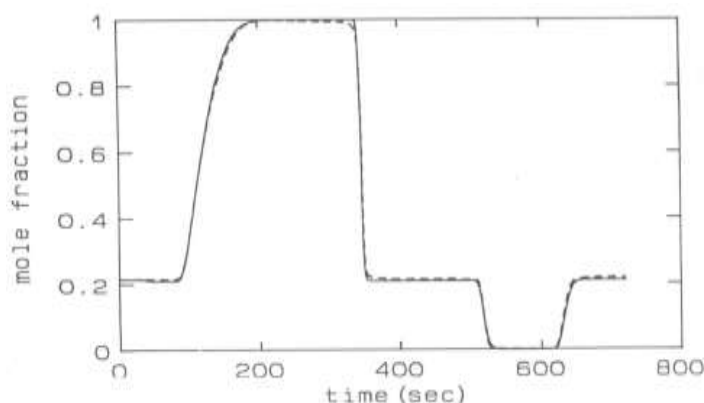
Parametros Choung et al	Cantidades
Flujo del aire	56 [l/min]
Temperatura	298 [K]
Presion	2 [atm]
Longitud	70 [cm]

¹⁸ CHOUNG, Cheng-Tung; HUANG, Wen-Chun y CHIANG, Antony. Simulation a Pressure Curves and Process of Breakthrough Swing Adsorption Air Separation. National Central University, Departamento de Ingeniería Química, Chungli, Taiwan. 1992. p.48,49.

¹⁹ BEEYANI, Ankit, et al. Parametric studies and simulation of PSA process for oxygen production from air. Polish Journal of Chemical Technology, 2010, vol. 12, no 2, p. 18-28.

Diametro	10 [cm]
Densidad aparente	0.721 [gr/ml]
Diametro de la particula	0,158 [cm]
Fraccion de vacio del lecho	0,364
Tortuocidad de particula	3

Figura 8. Fracción de oxígeno de salida del lecho presentada por *Choung et al.*



Fuente. CHANG, Mei-Hwei, et al. Simulation a Pressure Curves and Process of Breakthrough Swing Adsorption Air Separation. National Central University, Departamento de Ingeniería Química, Chungli, Taiwan.1992. p.48. (de la curva presentada solo se toman valores 300 a 400 segundos puesto que allí ocurre la adsorción).

Por otra parte, las constantes de la isoterma de Langmuir para el sistema de *Choung et al.* corresponden a 0,1524 mmol/(g*atm), 0,0533 1/atm, 0,145389 1/atm y 0,3122 mmol/(g*atm) para KK1, KK2, KK3 y KK4, respectivamente (Ecuaciones 1 y 2). El valor para la constante cinética de transferencia no se especifica en el trabajo de *Choung et al.* Con esto, las simulaciones efectuadas para reproducir los datos de *Choung et al.*¹⁹, se consideraron diferentes valores para la constante cinética de transferencia reportados en la Tabla 2 y soportados conceptualmente, con referencias bibliográficas y resultados en la Figura 10.

Tabla 2. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para los parámetros propuestos por Choung *et al.*

<i>Choung et al</i> ¹⁹ .					
simulación	Difusividad efectiva de knudsen para el oxígeno, Dek1 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno, Dek2 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva molecular a presión del sistema, Dem4 [(cm) ² /s]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Oxígeno, K1 [S ⁻¹]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Nitrógeno, K2 [S ⁻¹]
1 (fig. 10a)	0,00138	0,00147	0,01156	0,5437	0,577
2 (fig. 10a)	0,00505	0,00541	0,01156	1,5487	1,6239
3 (fig. 10a)	0,00210	0,00240	0,01156	0,7855	0,8784
4 (fig. 10b)	0,00210	0,00240	0,01156	0,7855	0,8784
5 (fig. 10c)	0,00210	0,00240	0,01156	4,2847	4,7913
6 (fig. 10c)	0,00138	0,00147	0,01156	2,9657	3,1473
7 (fig. 10c)	0,00505	0,00541	0,01156	8,4475	8,8578
8 (fig. 10d)	0,00505	0,00541	0,01156	8,4475	8,8578
9 (fig. 10e)	0,00505	0,00541	0,01156	0,9617	0,3361
10 (fig. 10e)	0,00138	0,00147	0,01156	0,3376	0,1194
11 (fig. 10e)	0,00210	0,00240	0,01156	0,4878	0,1818
12 (fig. 10f)	0,00210	0,00240	0,01156	0,3734	0,1938
13 (fig. 10f)	0,00138	0,00147	0,01156	0,2584	0,1273
14 (fig. 10f)	0,00505	0,00541	0,01156	0,7361	0,3584
15 (fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,15	0,05
16 (fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,4005	0,099

17(fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	62	19,7
23(fig. 14)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	50000	50000
24(fig. 14)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	5E-10	5E-10

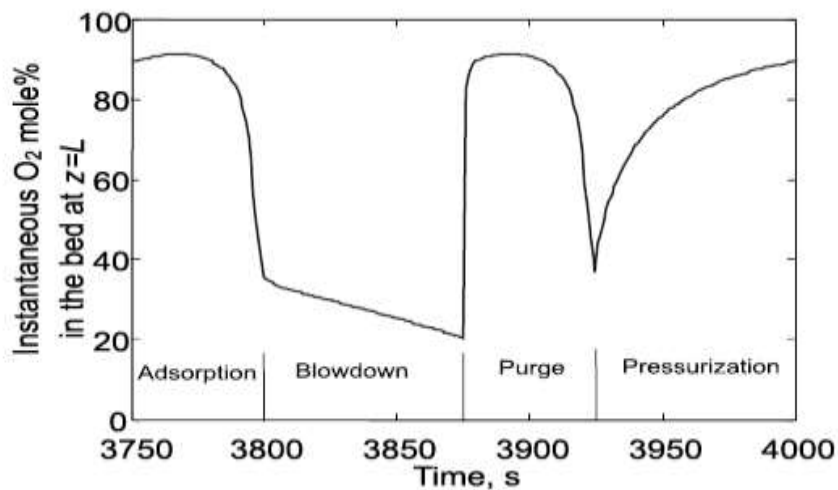
Según la curva de avance presentada por Choung *et al*¹⁹ Figura 8 y los resultados de simulaciones para los parámetros de la Figura 10, se observa una tendencia similar, donde se muestran 3 zonas en la operación de adsorción del proceso PSA; la zona 1, inicial, consiste en una línea constante horizontal, la cual representa una fracción de oxígeno cercana 1 a la salida del lecho, reflejando una gran eficiencia en la adsorción de nitrógeno por parte de la zeolita. Después de esta parte inicial, la fracción de oxígeno en la corriente de salida disminuye con una pendiente constante (zona 2); el decaimiento en la fracción de oxígeno se debe a la saturación alcanzada por la zeolita debido a la adsorción del nitrógeno. La última zona corresponde a una línea horizontal con fracción de 0,21 para el oxígeno de salida; el aire de salida posee la misma composición del aire de entrada debido a que el material adsorbente ha llegado a su máxima capacidad de adsorción (desactivación).

De otro lado, los parámetros físicos y las condiciones iniciales reportadas por Beeyani *et al*²⁰, se definen en la Tabla 3 y los resultados a comparar en la Figura 9. Se consideraron diferentes valores para la constante cinética de transferencia reportados en la Tabla 4 y soportados conceptualmente, con referencia bibliográficas y resultados en la Figura 10, y se aplicaron las constantes de la isoterma de Langmuir reportadas por Choung *et al.* ya que Beeyani *et al.* no especificaba valores y los valores de Choung se reportaban en gran parte de literatura.

Tabla 3. *Parámetros propuestos por Beeyani et al.*

Parametros Choung et al	Cantidades
Flujo del aire	25 [l/min]
Temperatura	298 [K]
Presion	1,9 [atm]
Longitud	35 [cm]
Diametro	3,5 [cm]
Diametro de la particula	0,0707 [cm]
Fraccion de vacio del lecho	0,4
Tortuocidad de particula	3

Figura 9. *Fracción de oxígeno de salida del lecho presentada por Beeyani et al.*



Fuente. Beeyani Ankit K., Singh K, Vyasa Raj K., Kumar S, Kumar S, Op.cit.p.20. BEEYANI, Ankit, et al. Parametric studies and simulation of PSA process for oxygen production from air. Polish Journal of Chemical Technology, 2010, vol. 12, no 2, p. 18.(solo se toman valores entre 3750 y 3800 segundos ya que es allí donde se presenta la adsorción).

Según la curva de avance presentada por Beeyani *et al* Figura 9 y los resultados de simulaciones para los parámetros del mismo se aprecian 2 zonas; la zona 1 presenta una línea horizontal que refleja un flujo con una fracción de oxígeno de 0,895 esto por la adsorción inicial del nitrógeno. La zona 2 exhibe una disminución progresiva en la fracción de oxígeno a la salida, debido a la saturación del material adsorbente; este sistema carece de la zona 3 mostrada en el sistema de Choung *et al.*¹⁹ debido a la interrupción de la operación con la saturación del lecho.

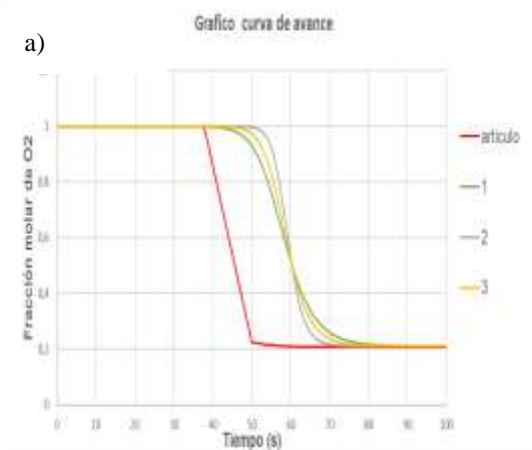
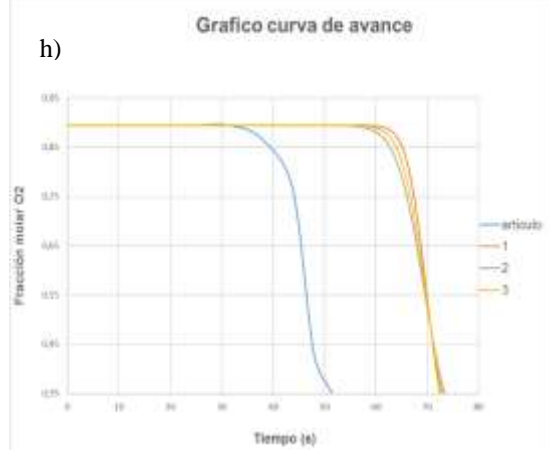
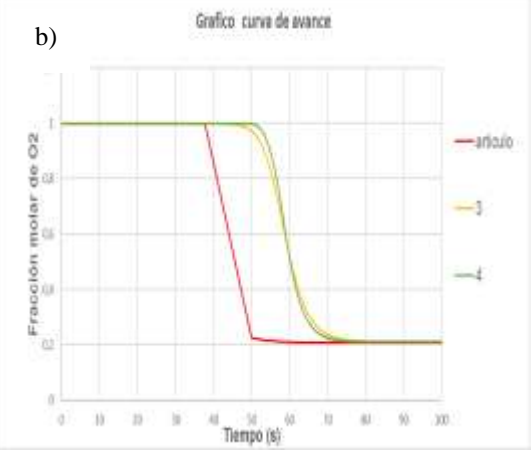

Tabla 4. Valores cinéticos, de las diferentes simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani *et al.*

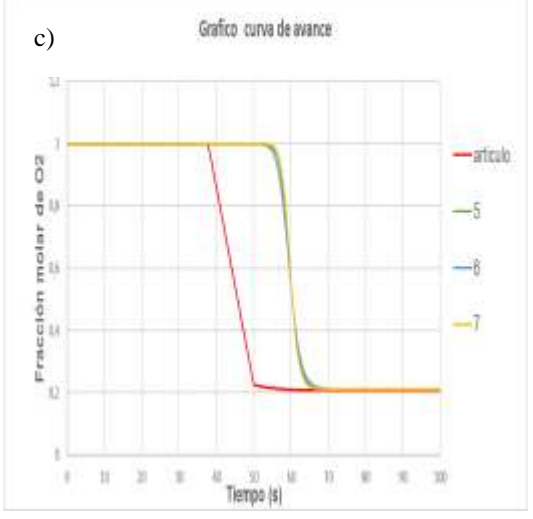
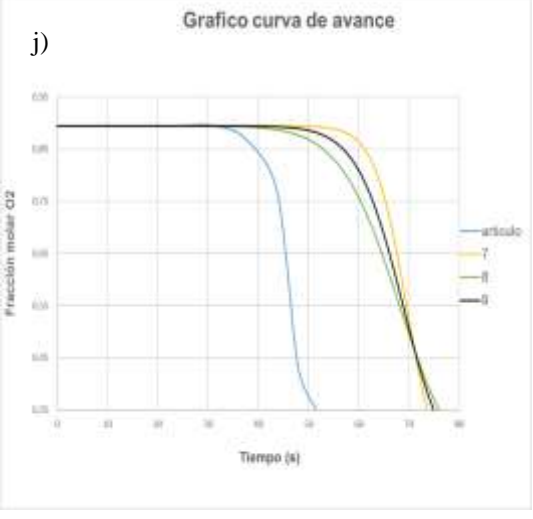
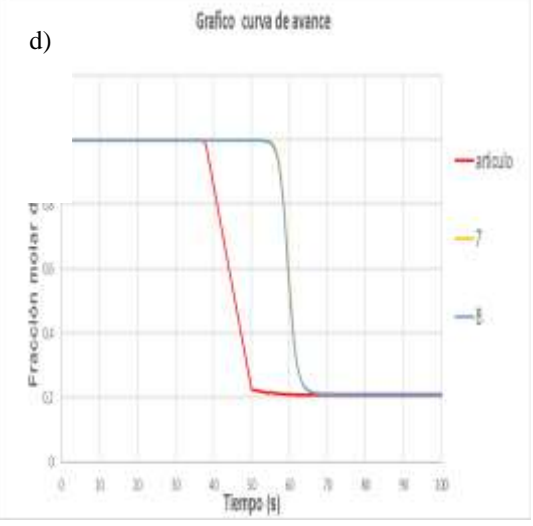
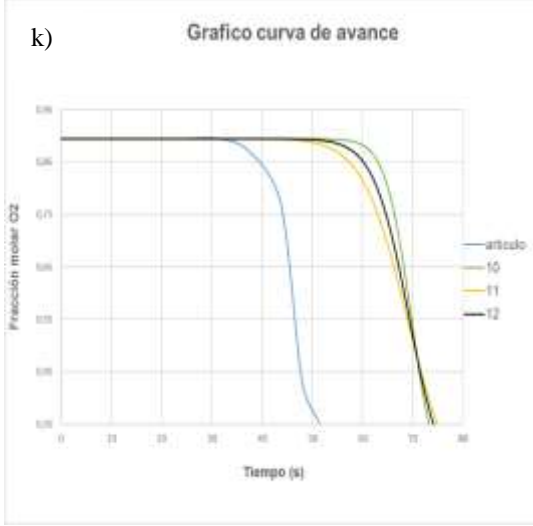
<i>Beeyani et al</i> ²⁰					
simulación	Difusividad efectiva de knudsen para el oxígeno, Dek1 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno, Dek2 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva molecular a presión del sistema, Dem4 [(cm) ² /s]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Oxígeno, K1 [S ⁻¹]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Nitrógeno, K2 [S ⁻¹]
1(fig. 10h)	0,00505	0,0054	0,01138	4,62	4,84
2(fig. 10h)	0,001302	0,0014	0,01138	1,54	1,64
3(fig. 10h)	0,00198	0,0023	0,01138	2,23	2,50
4(fig. 10i)	0,00505	0,0054	0,01138	41,99	44,02
5(fig. 10i)	0,001302	0,0014	0,01138	14,03	14,89

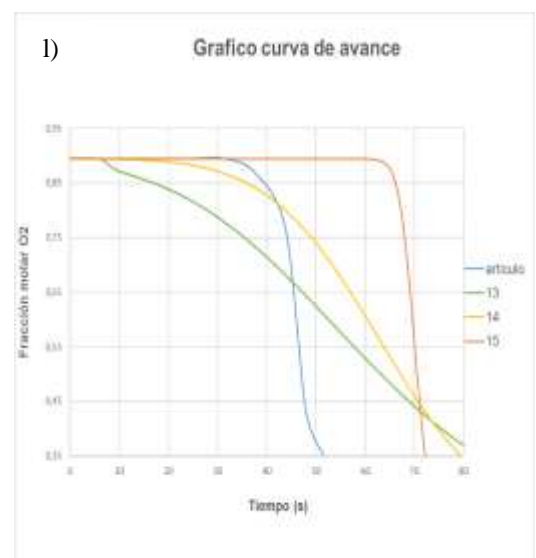
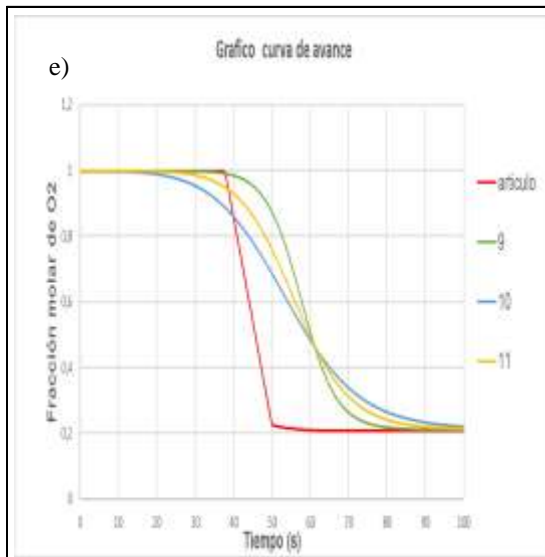
6(fig. 10i)	0,00198	0,0023	0,01138	20,31	22,73
7(fig. 10j)	0,00505	0,0054	0,01138	2,60	0,91
8(fig. 10j)	0,00130	0,0014	0,01138	0,87	0,31
9(fig. 10j)	0,00198	0,0023	0,01138	1,26	0,47
10(fig. 10k)	0,00505	0,0054	0,01138	3,13	1,52
11(fig. 10k)	0,001302	0,0014	0,01138	1,05	0,52
12(fig. 10k)	0,001987	0,0023	0,01138	1,51	0,79
13(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,15	0,05
14(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,40	0,10
15(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	62,00	19,70
16(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	4,62	4,84
17(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	41,99	44,02
18(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	2,60	0,91
19(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	3,13	1,52
20(fig. 10m)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	0,15	0,05
22(fig. 13)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	50.000,00	50.000,00

23(fig. 13)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	5E-10	5E-10
-------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------	-------

Figura 10. Simulaciones con las diferentes difusividades propuestas.

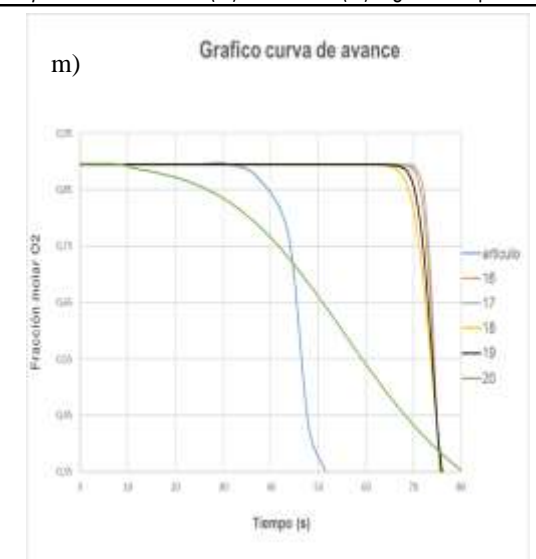
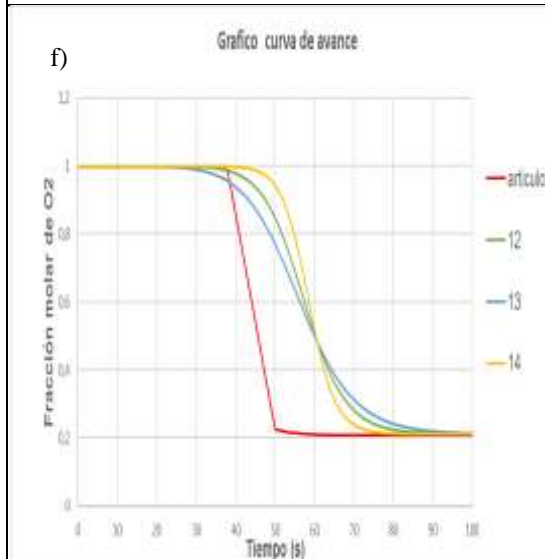
parametros según Choung et al ¹⁹	parametros según Beeyani et al ²⁰
<p>a)</p> 	<p>h)</p> 
<p>Difusividades calculadas a partir de ecuaciones utilizadas por Sankararao et al.²¹ es simulación 3, difusividades efectivas de knudsen del oxígeno y del nitrógeno calculadas a partir de las ecuaciones presentadas por Mascerialli et al.²² es simulación 1, las difusividades efectivas de knudsen utilizadas por Mendes et al.²³ es simulación 2 , todas sujetas a 51 nodos para el espacio y 101 nodos para el tiempo.</p>	<p>Difusividades calculadas a partir de ecuaciones utilizadas por Sankararao et al.²¹ es simulación 3, difusividades efectivas de knudsen del oxígeno y del nitrógeno calculadas a partir de las ecuaciones presentadas por Mascerialli ,et al.²² es simulación 2, las difusividades efectivas de knudsen utilizadas por Mendes et al.²³ es simulación 1 , todas sujetas a 51 nodos para el espacio y 101 nodos para el tiempo.</p>
<p>b)</p> 	<p>i)</p> 
<p>La simulación 4 contiene los mismos parámetros que la simulación 3 pero sujeta a 1001 nodos en el tiempo.</p>	<p>La simulación 4, 5y 6 contiene una corrección en 1,2 y 3 sobre los coeficientes de difusión efectiva intraparticulas donde el codigo original utiliza las coeficientes de efectivos de difusividad de knudsen y molecular para hallar este coeficiente, mientras que la literatura ²⁴ muestra que la ecuación solo utiliza coeficientes de difusividades de knudsen y molecular</p>

<p>c) Grafico curva de avance</p> 	<p>j) Grafico curva de avance</p> 
<p>La simulación 5, 6 y 7 contiene una corrección en 3,1 y 2 sobre los coeficientes de difusión efectiva intraparticulas donde el codigo original utiliza las coeficientes de efectivos de difusividad de knudsen y molecular para hallar este coeficiente, mientras que la literatura²⁴ muestra que la ecuación solo utiliza coeficientes de difusividades de knudsen y molecular</p>	<p>Alpay et al.²⁴ modifican el coeficiente de difusividad intrapartícula para hallar los coeficientes cinéticos k1 y k2 integran gradientes isotérmicos de adsorción de $1.72 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el oxígeno y $5.16 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el nitrógeno.</p>
<p>d) Grafico curva de avance</p> 	<p>k) Grafico curva de avance</p> 
<p>La simulación 8 contiene los mismos parámetros que la simulación 7 pero sujeta a 151 nodos en el espacio.</p>	<p>Alpay et al.²⁴ modifican el coeficiente de difusividad intrapartícula para hallar los coeficientes cinéticos k1 y k2 integran gradientes isotérmicos de adsorción de $1.43 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el oxígeno y $3.08 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el nitrógeno.</p>



Alpay et al.²⁴ modifican el coeficiente de difusividad intrapartícula para hallar los coeficientes cinéticos k_1 y k_2 integran gradientes isotérmicos de adsorción de $1.72 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el oxígeno y $5.16 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el nitrógeno.

Las simulaciones 13, 14 y 15 se realizaron con los valores de los coeficientes de transferencia de masa para el oxígeno K_1 y para el Nitrógeno K_2 utilizados por Mofarahi et al.²⁵ $K_1=0.15 \text{ S}^{-1}$ y $K_2=0.05 \text{ S}^{-1}$; Jee et al.²⁶ $K_1=0.4005 \text{ S}^{-1}$ y $K_2=0.099 \text{ S}^{-1}$; Y Beeyani et al.²⁷ $K_1=62 \text{ S}^{-1}$ y $K_2=19.7 \text{ S}^{-1}$ según corresponda.



Alpay et al.²⁴ modifican el coeficiente de difusividad intrapartícula para hallar los coeficientes cinéticos k_1 y k_2 integran gradientes isotérmicos de adsorción de $1.43 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el oxígeno y $3.08 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{ N}^{-1} (\text{Kg})^{-1}$ para el nitrógeno.

Se le realizó un cambio en la isoterma de Langmuir utilizado por Jee et al.²⁸

La simulación 16 contiene los mismos parámetros que la simulación 1, y así la simulación 17 de la simulación 4, la simulación 18 de la simulación 7, la simulación 19 de la simulación 10 y la simulación 20 de la 13.

<p>g)</p>	
<p>La simulaciones 15, 16 y 17 se realizaron con los valores de los coeficientes de transferencia de masa para el oxígeno K1 Y para el Nitrógeno K2 utilizados por Mofarahi et al.²⁵ $K1=0.15\text{ S}^{-1}$ y $K2=0.05\text{ S}^{-1}$; Jee et al.²⁶ $K1=0.4005\text{ S}^{-1}$ Y $K2=0.099\text{ S}^{-1}$; Y Beeyani et al.²⁷ $K1=62\text{ S}^{-1}$ Y $K2=19.7\text{ S}^{-1}$ según corresponda.</p>	

20 21 22 23 24 24 25 26 27

ya que las simulaciones que se muestran en la Figura 10 b y 10 d se realizaron con 1001 nodos en el tiempo y 151 en el espacio tardaban alrededor de 4 horas cada simulación para obtener resultados y la diferencia entre los resultados no es drástica, las simulaciones se realizaron con 101 nodos en el tiempo y 51 nodos en el espacio que tardaban en mostrar resultados alrededor de solo 15 minutos.

²⁰SANKARARAO ,B. Gupta Santosh K. Modeling and simulation of fixed bed adsorbers (FBAs) for multi-component gaseous separations. Indian Institute of Technology, departamento de ingeniería química. Kanpur, India. 2007.P.1293,1294.

²¹MASCIARELLI Roque , STANCICH Silvia y STOPPANI Fernando. Transferencia de Materia, unidad 2, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario, Cátedra de Ing. De las Reacciones.2012.p.8.

²²MENDES, Adelio MM; COSTA, Carlos AV; RODRIGUES, Alirio E. Analysis of nonisobaric steps in nonlinear bicomponent pressure swing adsorption systems. Application to air separation. Industrial & engineering chemistry research, 2000, vol. 39, no 1, p. 138-145..p.141.

²³ALPAY E., KENNEY C. N.Op.cit, p.3072.

²⁴Ibid.,p.3176.

²⁴MOFARAH, Masoud; SHOKROO, Ehsan Javadi. COMPARISON OF TWO PRESSURE SWING ADSORPTION PROCESSES FOR AIR SEPARATION USING ZEOLITE 5A AND ZEOLITE 13X. Petroleum & coal, 2013, vol. 55, no 3..p.219.

²⁵JEE, Jeong-Geun; LEE, Sang-Jin; LEE, Chang-Ha. Comparison of the adsorption dynamics of air on zeolite 5A and carbon molecular sieve beds. Korean Journal of Chemical Engineering, 2004, vol. 21, no 6, p. 1183-1192..P.1186

²⁶Beeyani Ankit K., Singh K, Vyasa Raj K., Kumar S, Kumar S, Op.cit.p.20.

²⁷Ibid.p.1185

Respecto a la representación cuantitativa del proceso, según la Figura 10 es posible sugerir que las simulaciones se encuentran desfasadas en el tiempo en relación con lo reportado por Choung *et al.*¹⁹ y Beeyani *et al.*²⁰ aunque las simulaciones siguen el mismo comportamiento de las curvas presentadas por los artículos todas muestran diferencias considerables en el tiempo para la zona de decaimiento de la fracción de hasta 25 segundos, se puede decir que no se debe a la constante cinética utilizada ya que ninguna simulación se acerca a valores satisfactorios cercano a los reportados por Choung *et al.*¹⁹ y Beeyani *et al.*²⁰, aunque tienen el mismo comportamiento característico de la adsorción.

Con lo anterior, la reducción sugerida por Rajasree y Moharir²⁸, para la constante de saturación en el equilibrio para el nitrógeno (kk4) en la isoterma de Langmuir fue aplicada en el código de simulación. Donde se multiplica la constante kk4 de la ecuación 4 por 0,65 y se volvieron a realizar las simulaciones con las mismas características cinéticas de las tablas 2 y 4.

El efecto de este procedimiento fue validado en las simulaciones realizadas que reportaron el menor error porcentual, este error fue calculado en el tiempo para unas fracciones en específico las de la zona 2 o zona de decaimiento de la fracción, ya que es en el tiempo donde se presenta el desfase ya mencionado. Los tiempos t_a de las curvas de avance reportadas por Choung *et al.* Y Beeyani *et al* se extrajeron por ecuaciones de regresión ver anexo E y los tiempos t_s de las simulaciones fueron reportados en el anexo D.

$$\text{Error} = \left| \left(\frac{t_a - t_s}{t_a} \right) * 100 \right|$$

²⁸ Rajasree, R. Moharir A.S. Simulation based synthesis, design and optimization of pressure swing adsorption (PSA) processes. Computer Aided Design Centre, Indian Institute of Technology, Powai, Bombay, India.p.2497,2498.

t_a =Tiempo presentado por el artículo (Choung *et al.* o Beeyani *et al*) en una fracción de oxígeno de salida.

t_s = Tiempo presentado por la respectiva simulación en una fracción de oxígeno de salida.

Tabla 5. ejemplo de cálculo para cada error porcentual. Simulación 1 con parámetros propuestos por Choung *et al.*

Fracción de oxígeno a la salida del lecho	Tiempo de la curva de avance presentada por el articulo Choung et al (ta) en segundos	Tiempo de avance reportada para la simulación (ts) en segundos	Error porcentual
1	37,50	12, 00	68, 00
0,9999	37 ,7078	13, 50	64, 19
0,9998	37 ,7034	15, 00	60, 21
0,9995	37 ,70827	16, 50	56, 24
0,9988	37 ,71961	18, 00	52,27

Este procedimiento se realizó hasta que la fracción llego a 0,21 para todas las simulaciones y se realizó un promedio para error porcentual que se observa en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. valores de los errores porcentuales promedio, todas estas simulaciones con ajuste en la constante de la isoterma de Langmuir para los parámetros propuestos por Choung *et al.*

simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	23	24
PROMEDIO DEL ERROR	24,47	13,52	19,59	13,13	9,88	9,92	9,85	9,40	28,89	50,06	38,37	31,37	38,41	21,88	96,84	54,27	9,62	9,86	81,39

Tabla 7. valores de los errores promedio, todas las simulaciones con ajuste en la constante de la isoterma de Langmuir para los parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
PROMEDIO																							
DEL ERROR	7,10	8,08	6,58	8,84	8,27	8,55	11,30	25,18	19,25	8,18	19,05	11,35	16,34	34,93	8,80	26,52	30,07	12,06	18,24	34,44	30,68	10,19	82,20

Estas simulaciones consideraron los mismos parámetros de difusividad especificados en la Figura 10, cuyos valores de difusividades y constantes cinéticas son apreciables en las tablas 2 y 4, asumiendo estos parámetros para los sistemas especificados por Choung *et al.*¹⁹ y Beeyani *et al.*²⁰, el código desarrollado puede mostrar su generalidad al requerir variables operativas y dimensiones del sistema para la ejecución de simulaciones.

De las tablas 6 y 7 se escoge la simulación 5 para los parámetros de Choung *et al.*¹⁹ y la simulación 6 para los parámetros de Beeyani *et al.*²⁰ puesto que las difusividades se encuentran basadas en las ecuaciones reportadas por Sankararao y Gupta²⁹ y logran predecir el sistema con errores porcentuales bajos con respecto a las demás simulaciones, con un promedio porcentual de error para la fracción de salida entre 8,5% para el artículo Beeyani *et al.*²² y 9,8 % para la simulación con respecto al artículo Choung *et al.*²¹.

Para Choung *et al.*¹⁹.

Difusividad efectiva de knudsen para el oxígeno, $D_{k1} = 0,002107729$.

Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno, $D_{k2} = 0,002408833$.

²⁹ Sankararao B., Gupta Santosh K. Modeling and simulation of fixed bed adsorbers (FBAs) for multi-component gaseous separations. Indian Institute of Technology, departamento de ingeniería química. Kanpur, India. 2007.P.1293,1294.

Difusividad efectiva molecular a presión del sistema $Dem4 = 0,011561231$.

Lo que llevo a unas constantes cinéticas correspondientes para oxígeno y nitrógeno $k1 = 4,2847$ y $k2 = 4,7913$.

para Beeyani *et al*²⁰

Difusividad efectiva de knudsen para el oxígeno, $Dek1 = 0,001987288$.

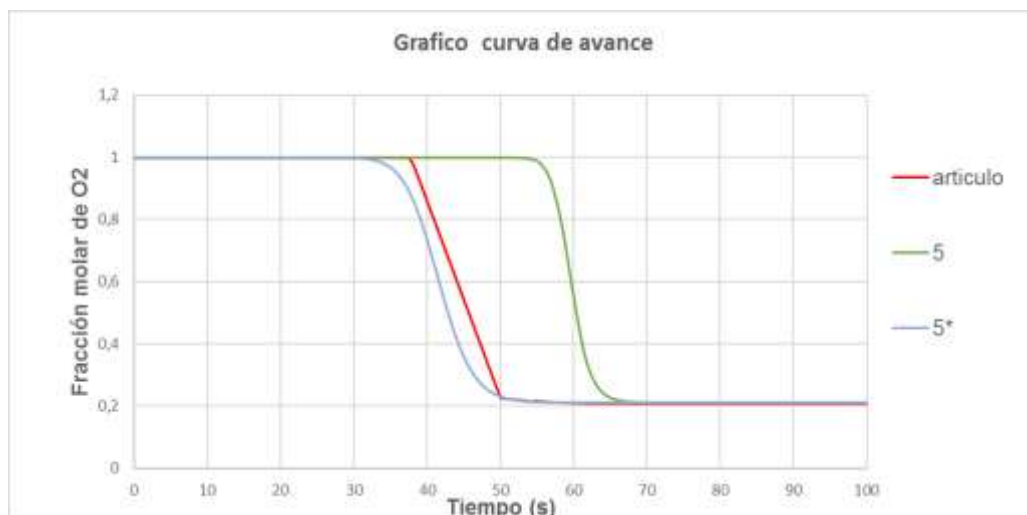
Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno, $Dek2 = 0,002271186$.

Difusividad efectiva molecular a presión del sistema $Dem4 = 0,011382915$.

Lo que llevo a unas constantes cinéticas correspondientes para oxígeno y nitrógeno $k1 = 20,3090$ y $k2 = 22,7277$.

Las simulaciones que representan las difusividades de por Sankararao y Gupta³⁰ pueden ser analizadas en las Figuras 11 y 12. En las Figuras 11 y 12 es posible apreciar la mejoría en las simulaciones consideran el ajuste en las isoterms (curvas 5* y 6*) al acercarse a las curvas de avance reportadas por Choung *et al.*¹⁹ y Beeyani *et al*²⁰.

Figura 11. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 5 comparativo con el ajuste 5*, por Choung *et al*¹⁹.



³⁰ ibp

Figura 12. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 6 comparativo con el ajuste 6*, Beeyani et al²⁰.



(En estas figuras, las simulaciones 5* y 6* consideran el ajuste en la isoterma, mientras que las simulaciones 5 y 6, en estas figuras, no consideran el mencionado ajuste)

Complementariamente, los efectos de la cinética aportada por las constantes k_1 y k_2 del modelo LDF sobre el desempeño de la simulación fueron analizados para los valores $k_1 = 50000$ y $k_2 = 50000$, $k_1 = 5,0e-10$ y $k_2 = 5,0e-10$. Los resultados para los dos sistemas simulados son presentados en las figuras 13 y 14.

Las constantes cinéticas k_1 y k_2 con valores de 50000, representan velocidades elevadas para la transferencia de masa y equilibrio cinético, lo cual concuerda con lo reportado por Chai³¹; en la Figura 14 se aprecia que la fracción de salida de oxígeno demora en llegar al equilibrio debido a que el adsorbente retiene con

³¹ CHAI. Op. Cit, p.46-47.

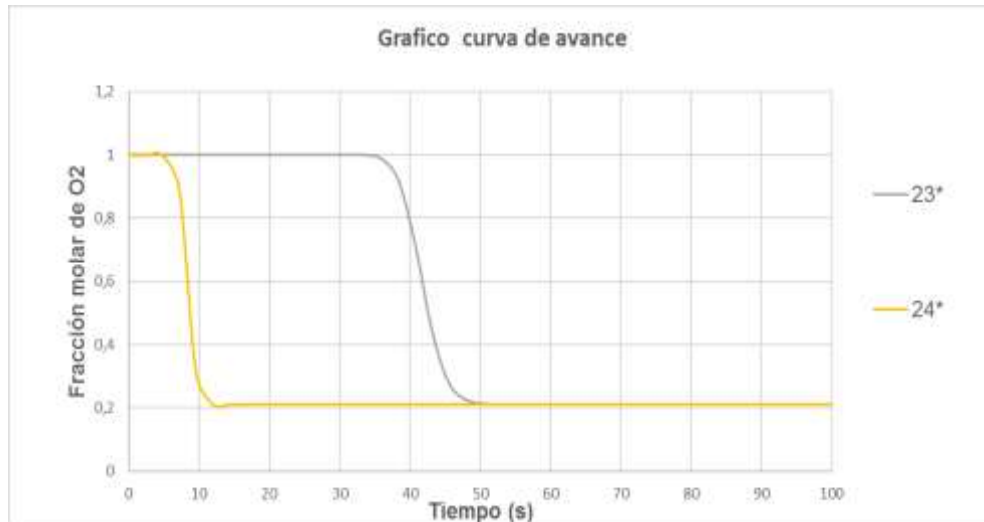
una velocidad elevada al adsorbato, causando una saturación rápida de la zeolita, comparada con la mostrada al establecer las constantes cinéticas en $5.0e-10$ (velocidad de adsorción casi nula, lo cual permite el paso del gas de alimentación sin retención). Entre más pequeña es la constante cinética más lenta es la saturación del material adsorbente del lecho y se puede afirmar que aparecerá más rápido la zona 2, donde se observa la variación de la fracción, esto se puede evidenciar observando las Figura 10, que contiene todas las simulaciones inicialmente propuestas. Con lo anterior, se aprecia que la modificación de estas constantes puede conducir a un mejor desempeño del código de simulación. Las constantes cinéticas fueron cuantificadas por un procedimiento de prueba y error hasta alcanzar el menor error posible respecto a los resultados expuesto por Choung et al.¹⁹ y Beeyani et al²⁰. Y expuestos en la Tabla 5 y 6 donde las simulaciones 5 para Choung et al¹⁹ y 6 para Beeyani et al²⁰ son las difusividades correspondiente a Sankararao y Gupta²¹.

Figura 13. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 22* y 23* para los parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰. Donde 22* corresponde a las $k_1 = 50000 \text{ S}^{-1}$, $k_2 = 50000 \text{ S}^{-1}$ y 23* $k_1 = 5,0000e-10 \text{ S}^{-1}$ $k_2 = 5,0000e-10 \text{ S}^{-1}$.



²¹ SANKARARAO. Op. Cit,p.1293,1294.

Figura 14. Fracción de oxígeno en la salida del lecho para las simulaciones 23* y 24* para los parámetros propuestos por Choung et al.¹⁹ Donde 23* corresponde a las $k_1 = 50000 \text{ s}^{-1}$, $k_2 = 50000 \text{ s}^{-1}$ y 24* $k_1 = 5,0000\text{e-}10\text{s}^{-1}$, $k_2 = 5,0000\text{e-}10 \text{ s}^{-1}$.



La Figura 15 muestra el caudal con relación al tiempo para las simulaciones considerando los nuevos parámetros cinéticos; según esta figura se observa una mejoría de la predicción del caudal, cuando se realiza el ajuste en la isoterma. Esta mejora en los resultados de simulación se debe principalmente a que el sistema demora menos en llegar al equilibrio; al disminuir la constante de saturación del nitrógeno en la zeolita, el volumen del nitrógeno no adsorbido tendera a ocupar el espacio donde no exista zeolita en el lecho y aumentar el flujo, hasta estabilizarse con el flujo de entrada.

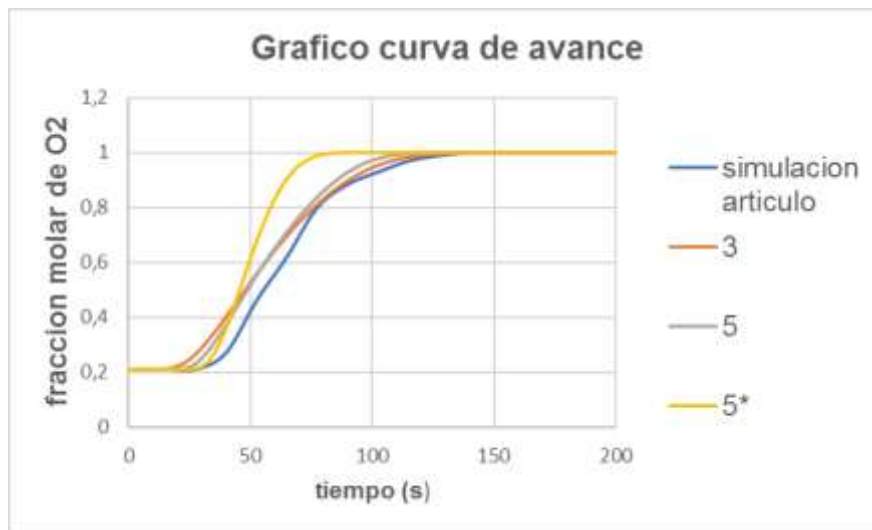
Figura 15. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la adsorción en el artículo *Choung et al.*¹⁹ (Caudal de salida).



Por otra parte, el código de simulación fue ejecutado para reportar valores en la etapa de purga del tanque PSA; se utilizaron los mismos parámetros que para la adsorción, modificando la concentración en los flujos iniciales, el tiempo de alimentación y el caudal de alimentación (*i.e.* flujo de alimentación de 43 litros por minuto).

La Figura 16 presenta los resultados de la simulación considerando las constantes de equilibrio según la simulación 5 de los parámetros sugeridos por *Choung et al.*¹⁹ según esta figura, los resultados divergen en diferentes secciones a lo reportado para la etapa de purga, sugiriendo que el fenómeno de desorción puede presentar cierta histéresis respecto a la adsorción (isotermas de Langmuir con diferentes constantes para cada etapa). Las constantes cinéticas fueron mantenidas constantes en las dos etapas puesto que estos valores dependen de la presión y temperatura; los valores para la presión y la temperatura fueron mantenidos constantes para las dos etapas en los parámetros propuestos por *Choung et al.*¹⁹; pero en general en los procesos industriales la presión de adsorción y desorción pueden tomar valores diferentes.

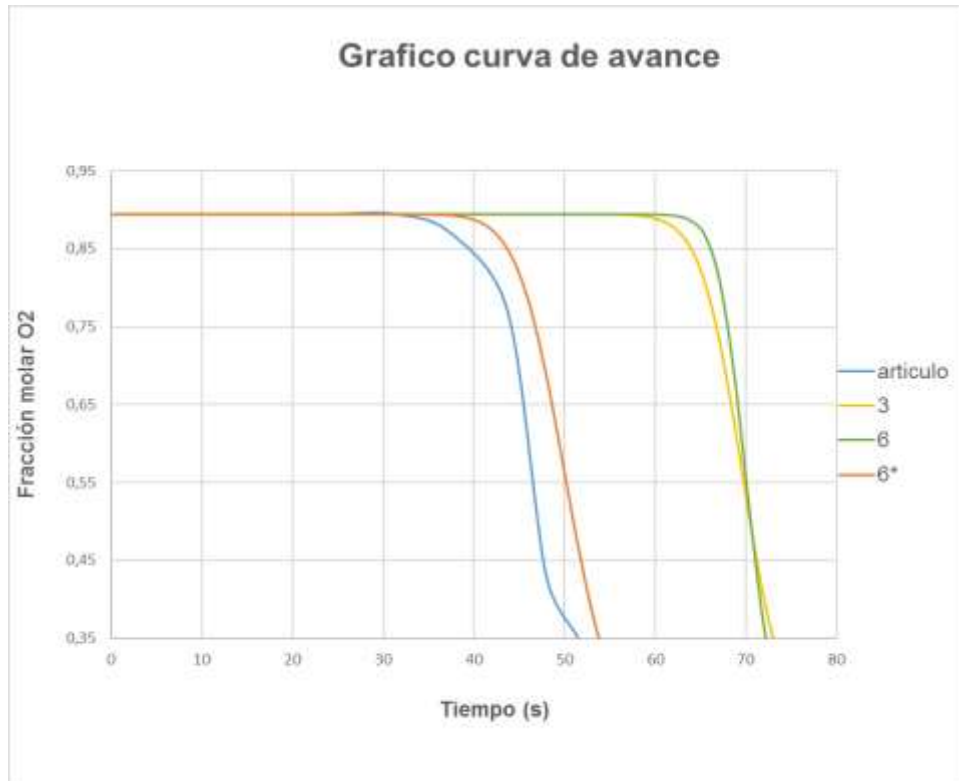
Figura 16. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la purga en parámetros propuestos por Choung et al.¹⁹ (fracción de salida).



En la Figura 17, se observa la mejoría del código propuesto para los parámetros presentados por Beeyani *et al*²⁰, para este caso no se puede observar el tiempo donde se satura el lecho por la interrupción en la alimentación. la simulación 6* corresponde a la simulación 6 con difusividades planteadas por Sankararao y Gupta²¹ pero con el ajuste en la isoterma de Langmuir.

Figura 17. Comparación de los cambios realizados a la simulación propuesta como solución para la adsorción en parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰ (fracción de salida).

²¹ SANKARARAO. Op. Cit.,p..1293,1294..



Los resultados anteriores sugieren que el código desarrollado en el presente trabajo puede ser utilizado para el análisis del desempeño de las etapas de adsorción y purga a nivel cualitativo. Asimismo, el ajuste de las constantes cinéticas y de equilibrio por la isoterma de Langmuir puede conducir a que el código desarrollado reproduzca los datos experimentales para la adsorción y la purga en el proceso PSA. Para el código propuesto 101 nodos en el tiempo y 51 nodos en el espacio las difusividades en la simulación son las propuestas a partir de ecuaciones utilizadas por Sankararao y Gupta²¹

²¹ SANKARARAO. Op. Cit., p. 1293, 1294..

2. CONCLUSIONES

El modelo definido en el presente documento considera los mecanismos difusivos y la isoterma de Langmuir según la aproximación de fuerza motora LDF para representar la operación de un tanque de adsorción del proceso PSA. Un algoritmo de solución con dos rutinas fue propuesto para el modelo de operación del tanque de adsorción; una rutina principal se encarga de la gestión de los datos del tanque a resolver, mientras la otra resuelve el modelo de ecuaciones diferenciales parciales por medio de la discretización en el tiempo y un procedimiento numérico para las ecuaciones diferenciales totales. El algoritmo de solución fue codificado en Matlab y validado con dos casos experimentales reportados en la literatura. Para los dos casos, las simulaciones con diferentes parámetros para los mecanismos difusivos y la isoterma de Langmuir muestran la representación de las respectivas tendencias experimentales. La operación del tanque en la etapa de adsorción exhibe tres zonas: adsorción hasta el inicio de la saturación del material adsorbente, decaimiento de la pureza de oxígeno y saturación completa del material. Según los resultados de las simulaciones con el código desarrollado, las difusividades alteran la pendiente en la zona de decaimiento de la pureza de oxígeno en el flujo de salida, mientras las constantes para la isoterma de Langmuir modifican el tiempo de inicio de la saturación.

Asimismo, la aplicación del código de simulación condujo a la representación de la operación de los sistemas experimentales, considerando las difusividades propuestas a partir de ecuaciones utilizadas por Sankararao y Gupta y una modificación por prueba y error para las constantes de la isoterma de Langmuir. Con lo anterior, el código desarrollado en el presente trabajo para la simulación de un tanque para el proceso PSA puede ser utilizado para el análisis de la operación de este sistema.

3. RECOMENDACIONES

Realizar validaciones adicionales al código desarrollado en el presente trabajo para determinar la eficiencia en la representación de la etapa de adsorción en un tanque para el proceso PSA.

No se aconseja utilizar estos parámetros difusivos para todo cualquier número nodos, los parámetros establecidos para mejorar la curva de avance se realizaron con nodos de 101 y 51 para tiempo y espacio, debido a la menor durabilidad del tiempo para obtener resultados en Matlab.

BIBLIOGRAFÍA

Beeyani Ankit K., Singh K, Vyasa Raj K., Kumar S, Kumar S, Op.cit.p.20.

BEEYANI, Ankit, et al. Parametric studies and simulation of PSA process for oxygen production from air. Polish Journal of Chemical Technology, 2010, vol. 12, no 2, p. 18-28.

CEN, Pei Ling; CHEN, Wei Niu; YANG, Ralph T. Ternary gas mixture separation by pressure swing adsorption: a combined hydrogen-methane separation and acid gas removal process. Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 1985, vol. 24, no 4, p. 1201-1208..

CHAI, Siew Wah. Experimental Simulation of Rapid Pressure Swing Adsorption for Medical Oxygen Concentrator and Numerical Simulation of the Critical Desorption-by-Purge Step. 2011. Tesis Doctoral. Lehigh University.p.46-47., p.46-47

CHANG, Mei-Hwei, et al. Simulation a Pressure Curves and Process of Breakthrough Swing Adsorption Air Separation. National Central University, Departamento de Ingeniería Química, Chungli, Taiwan.1992. p.48,49.

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA FÍSICA UNIVERSIDAD DE VALENCIA.
Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea.

FAROOQ, S.; RUTHVEN, D. M.; BONIFACE, H. A. Numerical simulation of a pressure swing adsorption oxygen unit. *Chemical Engineering Science*, 1989, vol. 44, no 12, p. 2809-2816.

GIL, Villalta; MISRRAÍN, Max; SARAIVIA FUENTES, Fátima María. Consultoría para el Hospital general del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS) sobre la generación de oxígeno medicinal por el método de adsorción por balanceo de presión. 2016. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador.

HAUGAARDS, Jesper; and LIVBJERG, Hans; "Models of pore diffusion in porous catalysts," Department of Chemical Engineering, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark, sHaldor Topsøe A/S, 2800 Lyngby, Denmark, *Chem. Eng. J.*, vol. 53,20,1998

HEALTHCARE." Gases medicinales para análisis cardiopulmonar,"2017. [Online]. Available: http://www.linde-healthcare.es/es/about_linde_healthcare/index.html. [Accessed: 4-Sep-2017].

INDURA GRUPO AIR PRODUCTS." Manual de gases soluciones tecnológicas con gases y soldaduras para un mundo de procesos" 2017. [Online]. Available: <http://www.cryogas.com.co>. [Accessed: 3-Sep-2017].

JEE, Jeong-Geun; LEE, Sang-Jin; LEE, Chang-Ha. Comparison of the adsorption dynamics of air on zeolite 5A and carbon molecular sieve beds. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2004, vol. 21, no 6, p. 1183-1192..P.1186

LANGMUIR, Irving. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. Journal of the American chemical society, 1916, vol. 38, no 11, p. 2221-2295

LIOW, Jong-Leng; KENNEY, C. N. The backfill cycle of the pressure swing adsorption process. AIChE journal, 1990, vol. 36, no 1, p. 53-65.

LIU, Yang; SUN, Fan. Parameter estimation of a pressure swing adsorption model for air separation using multi-objective optimisation and support vector regression model. Expert Systems with Applications, 2013, vol. 40, no 11, p. 4496-4502.

MASCIARELLI Roque , STANCICH Silvia y STOPPANI Fernando. Transferencia de Materia, unidad 2, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario, Cátedra de Ing. De las Reacciones.2012.p.8.

MENDES, A. M. M.; COSTA, C. A. V.; RODRIGUES, A. E. Linear driving force approximation for isothermal non-isobaric diffusion/convection with binary Langmuir adsorption. Gas separation & purification, 1995, vol. 9, no 4, p. 259-270.

MENDES, Adelio MM; COSTA, Carlos AV; RODRIGUES, Alirio E. Analysis of nonisobaric steps in nonlinear bicomponent pressure swing adsorption systems. Application to air separation. Industrial & engineering chemistry research, 2000, vol. 39, no 1, p. 138-145..p.141.

MOFARAHI, Masoud; SHOKROO, Ehsan Javadi. Comparison of two pressure swing adsorption processes for air separation using zeolite 5a and zeolite 13x. *Petroleum & coal*, 2013, vol. 55, no

RAMÍREZ NIETO, Raúl. Evaluación de los beneficios de la producción de oxígeno medicinal del Hospital Universitario La Samaritana de Bogotá, por el Sistema PSA (Adsorción por Fluctuaciones de Presión). Estimación de posibles efectos en el sector de la salud, Bogotá, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo lozano. 2008, p.15,28.,p.

RIVERA GUERRERO, Andrés Felipe, et al. Desarrollo y aplicación de un modelo computacional del arranque y operación de un proceso de adsorción por cambios oscilatorios de presión para la deshidratación de etanol azeotrópico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. p. 26.

RUTHVEN, D. M.; FAROOQ, S. Air separation by pressure swing adsorption. *gas separation & purification*, 1990, vol. 4, no 3, p. 141-148.

SANKARARAO ,B. Gupta Santosh K. Modeling and simulation of fixed bed adsorbers (FBAs) for multi-component gaseous separations. Indian Institute of Technology, departamento de ingeniería química. Kanpur, India. 2007.P.1293,1294.

SIRCAR ,S, et al. Pressure Swing Adsorption Technology, *Adsorption: Science and Technology*. In: NATO ASI Series, vol. 158, 1989, pp. 285–320.

TSURU, Toshinori; HWANG, Sun Tak. Production of high-purity oxygen by continuous membrane column combined with psa oxygen generator. industrial & engineering chemistry research, 1994, vol. 33, no 2, p. 311-316

ANEXOS

ANEXO A. TOMA DE DATOS DE LOS ARTICULOS.

La extracción de datos de los artículos necesarios para su análisis extrajo a partir de las curvas de avance presentados por estos.

Tabla 8. Datos que arrojan las curvas de avance de los parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

t	x articulo
0	0,895
6,25	0,895
12,5	0,895
15,62	0,895
18,75	0,895
25	0,895
31,25	0,895
37,5	0,87
43,75	0,77
48	0,43
51,5	0,3508

Tabla 9. Datos que arrojan las curvas de avance del los parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.

Donde t es el tiempo[segundos],x fracción molar, Q caudal [l/min]

t articulo	x articulo	t articulo	Q articulo	Q experimental
0	1	0	30	43
12,5	1	5,9	51	47
25	1	6,3	51	48
25,1	1	12,5	51,2	46
25,2	1	25	52	46
25,3	1	36,5	52	46,5
25,4	1	37,5	52	46,5
25,5	1	48	52	46,5
25,6	1	49,5	52	49
25,7	1	50	64,9	50
37,5	1	58	56	52
37,6	0,999	62,5	56	53
37,7	0,995	75	56	55
37,8	0,99	87,5	56,1	55,2
37,9	0,989	100	56,2	55,3
38	0,985	112,5	56,15	55,4
38,1	0,98	125	56	55,5
38,2	0,975	137,5	56	55,6
38,3	0,97	150	56	55,7
50	0,23	162,5	56	55,8
50,2	0,226	175	56	55,9
50,4	0,2255			
50,6	0,225			
50,8	0,2245			
51	0,224			
51,2	0,2235			
51,4	0,223			
51,6	0,2225			
51,8	0,2219			
52	0,2214			
52,2	0,2209			
52,4	0,2204			
52,6	0,2199			
52,8	0,2194			
53	0,2189			
53,2	0,2184			
53,4	0,2179			
53,6	0,2174			
53,8	0,2169			
54	0,2164			
54,2	0,2159			
54,4	0,2154			
54,6	0,2149			
54,8	0,218			
55	0,2178			

55,2	0,2168			
55,4	0,2163			
55,6	0,2155			
55,8	0,215			
56	0,2147			
56,2	0,2143			
56,4	0,214			
62,5	0,21			
75	0,21			
87,5	0,21			
100	0,21			
112,5	0,21			
125	0,21			
137,5	0,21			
150	0,21			
162,5	0,21			
175	0,21			
187,5	0,21			2

ANEXO B. CINETICA DE LAS SIMULACIONES.

En las simulaciones donde no se especifica las difusividades el coeficiente cinético fue tomado directamente de literatura como se especifica en el capítulo 3.

Tabla 10. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para los parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.

<i>Choung et al¹⁹.</i>					
simulación	Difusividad efectiva de knudsen para el	Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno,	Difusividad efectiva molecular a presión del sistema,	coeficiente de transferencia de masa cinético para	coeficiente de transferencia de masa cinético para

	oxígeno, Dek1 [(cm) ² /s]	Dek2 [(cm) ² /s]	Dem4 [(cm) ² /s]	el Oxígeno, K1 [S ⁻¹]	el Nitrógeno, K2 [S ⁻¹]
1 (fig. 10a)	0,00138	0,00147	0,01156	0,5437	0,577
2 (fig. 10a)	0,00505	0,00541	0,01156	1,5487	1,6239
3 (fig. 10a)	0,00210	0,00240	0,01156	0,7855	0,8784
4 (fig. 10b)	0,00210	0,00240	0,01156	0,7855	0,8784
5 (fig. 10c)	0,00210	0,00240	0,01156	4,2847	4,7913
6 (fig. 10c)	0,00138	0,00147	0,01156	2,9657	3,1473
7 (fig. 10c)	0,00505	0,00541	0,01156	8,4475	8,8578
8 (fig. 10d)	0,00505	0,00541	0,01156	8,4475	8,8578
9 (fig. 10e)	0,00505	0,00541	0,01156	0,9617	0,3361
10 (fig. 10e)	0,00138	0,00147	0,01156	0,3376	0,1194
11 (fig. 10e)	0,00210	0,00240	0,01156	0,4878	0,1818
12 (fig. 10f)	0,00210	0,00240	0,01156	0,3734	0,1938
13 (fig. 10f)	0,00138	0,00147	0,01156	0,2584	0,1273
14 (fig. 10f)	0,00505	0,00541	0,01156	0,7361	0,3584
15 (fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,15	0,05
16 (fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,4005	0,099
17 (fig. 10g)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	62	19,7
23 (fig. 14)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	50000	50000
24 (fig. 14)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	5E-10	5E-10

Tabla 11. Determinación cinética de las diferentes simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

<i>Beeyani et al²⁰</i>					
simulación	Difusividad efectiva de knudsen para el oxígeno, Dek1 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva de knudsen para el nitrógeno, Dek2 [(cm) ² /s]	Difusividad efectiva molecular a presión del sistema, Dem4 [(cm) ² /s]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Oxígeno, K1 [S ⁻¹]	coeficiente de transferencia de masa cinético para el Nitrógeno, K2 [S ⁻¹]
1(fig. 10h)	0,00505	0,0054	0,01138	4,62	4,84
2(fig. 10h)	0,001302	0,0014	0,01138	1,54	1,64
3(fig. 10h)	0,00198	0,0023	0,01138	2,23	2,50
4(fig. 10i)	0,00505	0,0054	0,01138	41,99	44,02
5(fig. 10i)	0,001302	0,0014	0,01138	14,03	14,89
6(fig. 10i)	0,00198	0,0023	0,01138	20,31	22,73
7(fig. 10j)	0,00505	0,0054	0,01138	2,60	0,91
8(fig. 10j)	0,00130	0,0014	0,01138	0,87	0,31
9(fig. 10j)	0,00198	0,0023	0,01138	1,26	0,47
10(fig. 10k)	0,00505	0,0054	0,01138	3,13	1,52

11(fig. 10k)	0,001302	0,0014	0,01138	1,05	0,52
12(fig. 10k)	0,001987	0,0023	0,01138	1,51	0,79
13(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,15	0,05
14(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	0,40	0,10
15(fig. 10l)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	62,00	19,70
16(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	4,62	4,84
17(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	41,99	44,02
18(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	2,60	0,91
19(fig. 10m)	0,00505	0,0054	0,0113829	3,13	1,52
20(fig. 10m)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	0,15	0,05
22(fig. 13)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	50.000,00	50.000,00
23(fig. 13)	no se especifica	no se especifica	no se especifica	5E-10	5E-10

ANEXO C. DATOS ARROJADOS POR LAS SIMULACIONES.

Los datos se extrajeron de la solución presentada por el código en Matlab , se almacenaron y organizaron en tablas de Excel.

Tabla 12. Simulaciones para parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.
Donde t es el tiempo[segundos],x fracción molar, Q caudal [l/min]

t	1x	1Q	2x	2Q	3x	3Q	t	4x	4Q	t	5x	5Q	6x	6Q	7x	7Q	8x	8Q
0	1	42,998	1	42,9979	1	42,998	0	1	42,9979	0	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979
1,5	1	36,901	1	37,4019	1	36,662	0,15	1	36,491	1,5	1	38,8098	1	38,2834	1	39,4076	1	39,2438
3	1	38,358	1	39,3397	1	38,677	0,3	1	34,1818	3	1	39,9166	1	39,8166	1	39,7036	1	39,5777
4,5	1	39,023	1	39,5079	1	39,302	0,45	1	34,2825	4,5	1	39,4716	1	39,5428	1	39,4325	1	39,629
6	1	39,321	1	39,5928	1	39,487	0,6	1	34,2439	6	1	39,4934	1	39,5799	1	39,5168	1	39,6427
7,5	1	39,464	1	39,6454	1	39,562	0,75	1	34,3719	7,5	1	39,8029	1	39,6366	1	39,9614	1	39,6425
9	1	39,531	1	39,5838	1	39,581	0,9	1	34,6073	9	1	39,5191	1	39,6322	1	39,338	1	39,6377
10,5	1	39,555	1	39,5968	1	39,583	1,05	1	35,014	10,5	1	39,6117	1	39,6182	1	39,7634	1	39,6324
12	1	39,572	1	39,6216	1	39,597	1,2	1	35,6603	12	1	39,6683	1	39,6078	1	39,7334	1	39,6265
13,5	1	39,563	1	39,5949	1	39,592	1,35	1	36,2694	13,5	1	39,5951	1	39,6329	1	39,3947	1	39,6208
15	1	39,579	1	39,6091	1	39,59	1,5	1	36,823	15	1	39,6278	1	39,6383	1	39,8378	1	39,6232
16,5	1	39,587	1	39,6091	1	39,598	1,65	1	37,3387	16,5	1	39,645	1	39,6028	1	39,5543	1	39,6261
18	1	39,585	1	39,6012	1	39,593	1,8	1	37,6169	18	1	39,605	1	39,6334	1	39,5327	1	39,6301
19,5	1	39,584	1	39,618	1	39,592	1,95	1	37,8176	19,5	1	39,6284	1	39,6337	1	39,8198	1	39,6347
21	1	39,586	1	39,5996	1	39,596	2,1	1	37,973	21	1	39,6452	1	39,5782	1	39,4584	1	39,632
22,5	1	39,585	1	39,604	1	39,589	2,25	1	38,0922	22,5	1	39,6039	1	39,6449	1	39,6868	1	39,6277
24	1	39,584	1	39,6152	1	39,593	2,4	1	38,2375	24	1	39,6321	1	39,6092	1	39,7323	1	39,6228
25,5	1	39,586	1	39,5901	1	39,593	2,55	1	38,4665	25,5	1	39,6242	1	39,5918	1	39,4634	1	39,6169
27	1	39,584	1	39,6085	1	39,589	2,7	1	38,6709	27	1	39,5987	1	39,6561	1	39,7845	1	39,618
28,5	1	39,584	1	39,6064	1	39,595	2,85	1	38,8576	28,5	1	39,6403	1	39,5787	1	39,5677	1	39,6208
30	1	39,586	1	39,5889	1	39,591	3	1	38,9996	30	1	39,6107	1	39,6146	1	39,5267	1	39,6243
31,5	1	39,583	1	39,6149	1	39,589	3,15	1	39,0599	31,5	1	39,6101	1	39,6371	1	39,7793	1	39,6286
33	1	39,585	1	39,5981	1	39,594	3,3	1	39,047	33	1	39,6333	1	39,5669	1	39,4719	1	39,626
34,5	1	39,587	1	39,5946	1	39,588	3,45	1	39,0215	34,5	1	39,5958	1	39,6464	1	39,6783	1	39,6216
36	1	39,6	1	39,6117	1	39,589	3,6	1	39,013	36	1	39,6234	1	39,6067	1	39,718	1	39,617
37,5	0,999	39,243	1	39,5875	1	39,592	3,75	1	39,0031	37,5	1	39,624	1	39,5831	1	39,4796	1	39,6122
39	0,999	39,564	1	39,5997	1	39,587	3,9	1	38,9946	39	1	39,5987	1	39,6556	1	39,7717	1	39,6131
40,5	0,997	39,857	1	39,6041	1	39,612	4,05	1	39,0656	40,5	1	39,634	1	39,5743	1	39,5627	1	39,6158
42	0,995	39,635	1	39,5845	0,999	39,617	4,2	1	39,1721	42	1	39,6061	1	39,6091	1	39,5286	1	39,619
43,5	0,992	39,69	1	39,6071	0,999	39,514	4,35	1	39,2701	43,5	1	39,6031	1	39,6338	1	39,7649	1	39,6227
45	0,986	40,025	1	39,5968	0,997	38,395	4,5	1	39,3674	45	1	39,6258	1	39,5612	1	39,4689	1	39,6205
46,5	0,977	39,959	1	39,5643	0,995	39,68	4,65	1	39,4575	46,5	1	39,5917	1	39,6384	1	39,6783	1	39,6163
48	0,963	40,154	0,999	39,6171	0,989	39,803	4,8	1	39,5274	48	1	39,6177	1	39,6033	1	39,7088	1	39,6119
49,5	0,941	40,514	0,998	39,616	0,979	39,921	4,95	1	39,5337	49,5	1	39,6196	0,9998	39,582	1	39,4758	1	39,6058
51	0,909	41,126	0,994	39,6876	0,961	40,23	5,1	1	39,5298	51	1	39,548	0,9994	39,6572	0,9999	39,7684	1	39,6103
52,5	0,865	41,754	0,984	39,8902	0,929	40,776	5,25	1	39,5043	52,5	0,999	39,6686	0,9976	39,6035	0,9997	39,569	0,999	39,6228
54	0,809	42,76	0,958	40,2664	0,879	41,622	5,4	1	39,4713	54	0,996	39,7316	0,9907	39,7618	0,9982	39,5606	0,996	39,6877
55,5	0,741	43,965	0,904	41,2519	0,808	42,924	5,55	1	39,4343	55,5	0,981	39,9352	0,9641	40,2431	0,9905	39,9786	0,984	39,7993
57	0,666	45,389	0,81	42,8738	0,719	44,556	5,7	1	39,4133	57	0,92	40,9668	0,8875	41,5702	0,9498	40,3556	0,937	40,6104
58,5	0,59	46,914	0,679	45,3647	0,62	46,621	5,85	1	39,4341	58,5	0,774	43,7829	0,7417	44,3275	0,81	43,1421	0,789	42,9115
60	0,517	48,487	0,534	48,4731	0,523	48,596	6	1	39,4606	60	0,557	48,4591	0,5494	48,3634	0,5676	48,4004	0,532	47,6934
61,5	0,453	49,986	0,411	51,3407	0,439	50,513	6,15	1	39,485	61,5	0,369	52,7191	0,3832	52,2526	0,3522	53,1961	0,339	52,3126
63	0,398	51,228	0,326	53,2477	0,372	52,087	6,3	1	39,5221	63	0,272	54,7653	0,2875	54,3235	0,2568	55,1045	0,257	54,6174
64,5	0,354	52,301	0,274	54,4844	0,322	53,274	6,45	1	39,5725	64,5	0,233	55,5445	0,2426	55,3086	0,2246	55,7244	0,227	55,4712
66	0,318	53,16	0,244	55,1874	0,286	54,141	6,6	1	39,6162	66	0,218	55,8395	0,2233	55,7178	0,2144	55,932	0,216	55,8604
67,5	0,291	53,887	0,228	55,5735	0,262	54,696	6,75	1	39,6162	67,5	0,213	55,9436	0,2154	55,9116	0,2113	55,977	0,212	55,9352
69	0,271	54,338	0,22	55,7819	0,245	55,205	6,9	1	39,6099	69	0,211	55,9796	0,2122	55,9136	0,2104	55,9923	0,211	55,9047
70,5	0,255	54,814	0,215	55,8745	0,233	55,435	7,05	1	39,6045	70,5	0,21	55,998	0,2109	55,9814	0,2101	55,9994	0,21	56,0026
72	0,243	55,132	0,213	55,9348	0,225	55,627	7,2	1	39,5965	72	0,21	56,0036	0,2104	55,9927	0,2101	55,998	0,21	56,0019
73,5	0,234	55,356	0,211	55,9654	0,22	55,762	7,35	1	39,5826	73,5	0,21	55,9994	0,2102	55,9929	0,21	55,9995	0,21	55,9978
75	0,228	55,527	0,211	55,9833	0,217	55,887	7,5	1	39,5566	75	0,21	55,9999	0,2101	55,9998	0,21	56,0013	0,21	55,9989
76,5	0,223	55,66	0,21	55,9912	0,214	55,865	7,65	1	39,5567	76,5	0,21	55,9997	0,2101	55,9986	0,21	56,0005	0,21	55,9994
78	0,22	55,767	0,21	55,9947	0,213	55,923	7,8	1	39,5709	78	0,21	55,9994	0,21	55,9994	0,21	55,9964	0,21	55,9996
79,5	0,217	55,835	0,21	55,9728	0,212	55,983	7,95	1	39,5763	79,5	0,21	55,9994	0,21	55,9996	0,21	55,9983	0,21	56,0001
81	0,215	55,877	0,21	55,9843	0,211	55,996	8,1	1	39,5825	81	0,21	55,9996	0,21	55,9994	0,21	55,9994	0,21	55,9998
82,5	0,214	55,913	0,21	55,9921	0,211	55,951	8,25	1	39,5984	82,5	0,21	56,0002	0,21	55,9997	0,21	55,9995	0,21	55,9998
84	0,213	55,93	0,21	56,0063	0,211	55,989	8,4	1	39,6127	84	0,21	56,0003	0,21	55,9998	0,21	55,9995	0,21	55,9998
85,5	0,212	55,882	0,21	56,0035	0,21	55,982	8,55	1	39,6193	85,5	0,21	55,9998	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	55,9999
87	0,211	55,947	0,21	56,0007	0,21	55,986	8,7	1	39,61	87	0,21	55,9998	0,21	56,0016	0,21	55,9999	0,21	55,9999
88,5	0,211	56,002	0,21	55,9997	0,21	56,002	8,85	1	39,6023	88,5	0,21	55,9998	0,21	56,0037	0,21	56	0,21	56
90	0,211	55,916	0,21	55,9996	0,21	55,996	9	1	39,5939	90	0,21	55,9999	0,21	56,0064	0,21	56,0004	0,21	56,0001
91,5	0,211	55,944	0,21	55,9999	0,21	55,999	9,15	1	39,5817	91,5	0,21	55,9999	0,21	56,0066	0,21	56,0006	0,21	56,0001
93	0,21	55,992	0,21	55,9972	0,21	55,999	9,3	1	39,5775	93	0,21	56	0,21	56,0052	0,21	56,0006	0,21	56,0001
94,5	0,21	56,031	0,21	55,9973	0,21	56	9,45	1	39,5672	94,5	0,21	56	0,21	56,0026	0,21	56,0004	0,21	56,0001
96	0,21	56,012	0,21	56,0002	0,21	56	9,6	1	39,5785	96	0,21	56,0001	0,21	56,0007	0,21	56	0,21	56,0002

97,5	0,21	55,971	0,21	55,9992	0,21	56,007	9,75	1	39,5979	97,5	0,21	56,0001	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0002
99	0,21	55,984	0,21	55,9987	0,21	56,02	9,9	1	39,6045	99	0,21	56,0002	0,21	55,9998	0,21	56,0001	0,21	56,0002
101	0,21	56	0,21	55,9987	0,21	56,024	10,1	1	39,6112	100,5	0,21	55,9998	0,21	55,9999	0,21	56,0001	0,21	55,9982
102	0,21	55,995	0,21	55,9992	0,21	56,018	10,2	1	39,6194	102	0,21	55,9992	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	55,9961
104	0,21	55,99	0,21	56,0002	0,21	56,012	10,4	1	39,6282	103,5	0,21	55,9986	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	55,994
105	0,21	55,995	0,21	56,0006	0,21	56,004	10,5	1	39,6351	105	0,21	55,9981	0,21	56,0001	0,21	56,0002	0,21	55,9919
107	0,21	55,997	0,21	56,0005	0,21	56,001	10,7	1	39,6181	106,5	0,21	55,9975	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	55,9898
108	0,21	55,997	0,21	56,0005	0,21	56,006	10,8	1	39,5963	108	0,21	55,9969	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	55,9902
110	0,21	55,999	0,21	56,0004	0,21	56,004	11	1	39,5857	109,5	0,21	55,9963	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,21	55,9924
111	0,21	56,001	0,21	56,0003	0,21	56	11,1	1	39,5783	111	0,21	55,9957	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,21	55,9946
113	0,21	56,001	0,21	56,0003	0,21	55,997	11,3	1	39,5726	112,5	0,21	55,9952	0,21	56,0003	0,21	56,0005	0,21	55,9968
114	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	55,995	11,4	1	39,5654	114	0,21	55,9946	0,21	56,0003	0,21	56,0005	0,21	55,999
116	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	55,995	11,6	1	39,5597	115,5	0,21	55,9951	0,21	56,0003	0,21	56,0005	0,21	56,0004
117	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	55,995	11,7	1	39,5802	117	0,21	55,9956	0,21	56,0002	0,21	56,0005	0,21	56,0003
119	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	55,997	11,9	1	39,602	118,5	0,21	55,9961	0,21	56,0002	0,21	56,0006	0,21	56,0002
120	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	55,999	12	1	39,6195	120	0,21	55,9966	0,21	56,0001	0,21	56,0006	0,21	56,0002
122	0,21	55,999	0,21	56,0004	0,21	55,999	12,2	1	39,6299	121,5	0,21	55,9971	0,21	56	0,21	56,0006	0,21	56,0002
123	0,21	55,999	0,21	56,0006	0,21	55,999	12,3	1	39,6374	123	0,21	55,9976	0,21	55,9999	0,21	56,0006	0,21	56,0002
125	0,21	55,999	0,21	56,0008	0,21	55,999	12,5	1	39,6433	124,5	0,21	55,9981	0,21	55,9998	0,21	56,0005	0,21	56,0003
126	0,21	55,999	0,21	56,0012	0,21	55,999	12,6	1	39,6463	126	0,21	55,9985	0,21	55,9998	0,21	56,0005	0,21	56,0003
128	0,21	56	0,21	56,0015	0,21	55,999	12,8	1	39,6276	127,5	0,21	55,999	0,21	55,9997	0,21	56,0005	0,21	56,0003
129	0,21	56	0,21	56,002	0,21	56	12,9	1	39,6095	129	0,21	55,9994	0,21	55,9996	0,21	56,0005	0,21	56,0003
131	0,21	56	0,21	56,0018	0,21	56	13,1	1	39,5897	130,5	0,21	55,9995	0,21	55,9996	0,21	56,0005	0,21	56,0003
132	0,21	56	0,21	56,0016	0,21	56	13,2	1	39,5755	132	0,21	55,9997	0,21	55,9997	0,21	56,0004	0,21	56,0003
134	0,21	56	0,21	56,0015	0,21	56	13,4	1	39,5665	133,5	0,21	55,9998	0,21	55,9998	0,21	56,0004	0,21	56,0003
135	0,21	56	0,21	56,0013	0,21	56	13,5	1	39,5597	135	0,21	56	0,21	55,9999	0,21	56,0004	0,21	56,0003
137	0,21	55,999	0,21	56,0012	0,21	56	13,7	1	39,5561	136,5	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003
138	0,21	55,999	0,21	56,001	0,21	56	13,8	1	39,5738	138	0,21	56,0003	0,21	56,0001	0,21	56,0004	0,21	56,0003
140	0,21	56	0,21	56,0008	0,21	56	14	1	39,5917	139,5	0,21	56,0004	0,21	56,0001	0,21	56,0004	0,21	56,0003
141	0,21	56	0,21	56,0007	0,21	56	14,1	1	39,6099	141	0,21	56,0005	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,21	56,0003
143	0,21	56	0,21	56,0005	0,21	56	14,3	1	39,6274	142,5	0,21	56,0007	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
144	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56	14,4	1	39,6401	144	0,21	56,0007	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003
146	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56	14,6	1	39,6485	145,5	0,21	56,0006	0,21	56,0005	0,21	56,0003	0,21	56,0003
147	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56	14,7	1	39,6525	147	0,21	56,0005	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003
149	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56	14,9	1	39,6378	148,5	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003
150	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56	15	1	39,6197	150	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003

t	9x	9Q	10x	10Q	11x	11Q	12x	12Q	13x	13Q	14x	14Q	15x	15Q
0	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979
2	1	46,3045	1	64,0455	1	57,5664	1	46,2604	1	51,4843	1	40,3288	1	67,0518
4	1	39,5045	1	53,888	1	46,1026	1	40,9966	1	44,4909	1	39,0659	1	66,9592
6	1	39,2151	0,9999	46,724	1	41,5559	1	39,7201	1	41,4228	1	39,3857	0,9876	63,3848
8	1	39,3868	0,9993	42,9362	1	40,0526	1	39,4847	1	40,2015	1	39,5198	0,9537	53,0259
10	1	39,4834	0,9987	41,0827	1	39,6048	1	39,4818	1	39,7349	1	39,5638	0,9388	51,6694
12	1	39,5289	0,9979	40,2072	0,9999	39,495	1	39,5139	1	39,6017	1	39,577	0,9316	49,9542
14	1	39,5514	0,9968	39,8133	0,9998	39,4832	1	39,5128	0,9999	39,5236	1	39,5773	0,9218	47,1652
16	1	39,565	0,9951	39,6338	0,9996	39,5043	1	39,5551	0,9998	39,5245	1	39,5848	0,9108	45,2996
18	1	39,5726	0,993	39,5641	0,9993	39,5747	1	39,5637	0,9996	39,4783	1	39,588	0,8986	44,043
20	1	39,5761	0,9899	39,5456	0,9987	37,8574	1	39,5691	0,9993	39,4024	1	39,589	0,8851	42,9808
22	1	39,5775	0,986	39,5522	0,9978	40,0482	0,9999	39,5691	0,9987	39,5021	1	39,5893	0,8702	42,2488
24	0,9999	39,5642	0,9808	39,5759	0,9965	41,4496	0,9998	39,5876	0,9977	36,149	1	39,588	0,8541	41,7076
26	0,9998	39,5841	0,9742	39,6088	0,9945	37,9184	0,9996	39,5856	0,9962	40,361	1	39,5867	0,8368	41,1071
28	0,9996	39,5765	0,9657	39,6545	0,9916	39,2356	0,9993	39,5962	0,994	39,792	1	39,5864	0,818	41,1804
30	0,9992	39,5858	0,9553	39,715	0,9873	39,6287	0,9986	41,5418	0,9907	38,5437	1	39,5545	0,7981	41,0567
32	0,9986	40,055	0,9425	39,79	0,9815	39,5209	0,9975	39,6102	0,9858	39,6401	0,9999	39,5964	0,7775	40,8661
34	0,9974	38,4932	0,9269	39,8917	0,9736	39,3693	0,9955	39,6131	0,979	39,7169	0,9998	39,5893	0,7556	40,9882
36	0,9953	39,4769	0,9084	40,0047	0,963	39,7786	0,9924	39,6012	0,9696	39,9919	0,9996	39,6618	0,7329	41,0579
38	0,9919	39,6655	0,8867	40,1683	0,9491	39,8245	0,9874	39,721	0,957	39,8905	0,9992	39,5913	0,7099	41,4832
40	0,9865	39,5871	0,8614	40,3872	0,9315	40,1417	0,9796	39,0968	0,9402	40,073	0,9982	39,3808	0,6858	40,6905
42	0,9779	40,0371	0,8328	40,5789	0,9086	40,2036	0,968	39,8997	0,9185	40,2959	0,9961	39,6302	0,6617	41,3924
44	0,9647	39,7504	0,8009	40,9097	0,8806	40,4406	0,9509	40,0513	0,8913	40,5272	0,9921	39,8029	0,6375	41,5121
46	0,9449	40,0048	0,7658	41,2139	0,8468	40,7524	0,9266	40,2864	0,8578	40,9121	0,9844	39,7533	0,6127	42,0857
48	0,9162	40,2667	0,7279	41,6195	0,8072	41,2896	0,8932	40,7167	0,8179	41,3794	0,9701	39,9012	0,5893	42,2658
50	0,8763	40,6653	0,6879	42,0886	0,7617	41,6196	0,8492	41,2011	0,7718	42,2729	0,9447	40,1825	0,5652	42,6108
52	0,8231	41,1883	0,6465	42,6012	0,7116	42,1845	0,7941	41,8942	0,7208	42,5088	0,9021	40,676	0,54	42,9358
54	0,7563	41,9086	0,6046	43,1823	0,6581	42,9334	0,7288	42,7701	0,6659	43,3548	0,8362	41,5254	0,5195	43,525
56	0,6779	43,0463	0,5631	43,8273	0,603	43,6981	0,6564	43,8471	0,6099	44,0289	0,7453	42,7461	0,4975	43,6529
58	0,5933	44,269	0,5228	44,4897	0,5483	44,6645	0,5815	45,1306	0,5537	45,201	0,6349	44,4762	0,4766	43,9899
60	0,5097	45,7868	0,4845	45,2351	0,4961	45,5758	0,509	46,3658	0,5003	46,2167	0,5204	46,5268	0,4566	44,4702
62	0,4343	47,4666	0,4488	46,0118	0,448	46,5986	0,4435	47,8894	0,4515	47,2304	0,4194	48,9533	0,4364	44,486
64	0,3716	49,1327	0,4163	46,7519	0,4051	47,6418	0,3878	49,3431	0,408	48,3745	0,3426	50,9425	0,4196	45,2174
66	0,3232	50,6063	0,3868	47,6597	0,368	48,5632	0,3426	50,6017	0,3703	49,344	0,2905	52,6497	0,4026	45,5578
68	0,2878	51,8859	0,3606	48,3269	0,3367	49,6266	0,3074	51,7255	0,3386	50,3035	0,2577	53,8832	0,3869	46,061
70	0,2628	52,9879	0,3378	49,0838	0,3108	50,6016	0,2807	52,7244	0,3123	51,1875	0,2378	54,7041	0,3719	46,6515
72	0,2456	53,4275	0,318	49,803	0,2897	51,4523	0,2609	53,5505	0,2909	51,9781	0,2261	55,2262	0,3586	46,9381
74	0,2339	54,4984	0,301	50,4668	0,2728	52,1708	0,2464	54,1374	0,2737	52,6777	0,2192	55,546	0,3459	47,4591
76	0,226	54,9526	0,2865	51,1259	0,2594	52,8765	0,2361	54,6932	0,2599	53,2703	0,2153	55,7334	0,3341	47,9041
78	0,2207	55,289	0,2742	51,7003	0,2487	53,4139	0,2285	54,9732	0,249	53,7791	0,213	55,8529	0,3235	48,4611
80	0,2172	55,5057	0,2638	52,2494	0,2403	53,9279	0,2231	55,3106	0,2405	54,2051	0,2117	55,9092	0,3137	48,6348
82	0,2148	55,6627	0,2551	52,7089	0,2338	54,2759	0,2193	55,4899	0,2337	54,5628	0,211	55,9481	0,3045	48,9848
84	0,2132	55,762	0,2478	53,1516	0,2286	54,6446	0,2165	55,5824	0,2285	54,8499	0,2106	55,9774	0,296	49,5423
86	0,2121	55,8574	0,2416	53,5326	0,2245	54,896	0,2146	55,7848	0,2243	55,093	0,2103	55,9783	0,2884	49,8493
88	0,2114	55,8902	0,2365	53,8701	0,2213	55,137	0,2132	55,8036	0,2211	55,2717	0,2102	55,9873	0,2815	50,2391
90	0,211	55,9422	0,2322	54,177	0,2189	55,3482	0,2123	55,8642	0,2186	55,4439	0,2101	55,9946	0,2753	50,5629
92	0,2106	55,9499	0,2286	54,4358	0,2169	55,4103	0,2116	55,9095	0,2167	55,531	0,2101	56,0004	0,2695	50,9096
94	0,2104	55,9759	0,2255	54,6617	0,2154	55,5551	0,2111	55,9286	0,2152	55,6495	0,21	55,9958	0,2642	51,242
96	0,2103	55,9789	0,223	54,8568	0,2142	55,6736	0,2108	55,9597	0,214	55,7242	0,21	55,9956	0,2595	51,5665
98	0,2102	55,9991	0,2209	55,0253	0,2133	55,7275	0,2106	55,9642	0,2131	55,7844	0,21	56,0033	0,2552	51,8085

100	0,2101	55,9925	0,2191	55,1725	0,2126	55,7769	0,2104	55,9779	0,2124	55,8327	0,21	56,004	0,2512	52,0867
102	0,2101	55,9921	0,2177	55,2974	0,212	55,83	0,2103	55,9844	0,2118	55,8688	0,21	56,0025	0,2476	52,3478
104	0,2101	56,005	0,2164	55,4038	0,2116	55,8788	0,2102	55,9886	0,2114	55,8992	0,21	55,9937	0,2444	52,567
106	0,21	55,9903	0,2154	55,4952	0,2112	55,8994	0,2101	55,9917	0,2111	55,9216	0,21	55,9965	0,2414	52,8269
108	0,21	55,9894	0,2145	55,5724	0,211	55,9141	0,2101	55,994	0,2108	55,9393	0,21	56,0068	0,2387	53,0439
110	0,21	55,9841	0,2138	55,6385	0,2107	55,9277	0,2101	55,9968	0,2106	55,9543	0,21	56,007	0,2362	53,0636
112	0,21	55,9785	0,2132	55,6951	0,2106	55,9526	0,21	55,9982	0,2105	55,9672	0,21	55,9995	0,234	53,5093
114	0,21	55,9839	0,2127	55,7426	0,2104	55,97	0,21	55,9989	0,2104	55,9739	0,21	55,9973	0,2319	53,7999
116	0,21	55,9849	0,2122	55,7827	0,2103	55,9791	0,21	55,9992	0,2103	55,9773	0,21	55,9983	0,23	54,1066
118	0,21	55,9859	0,2119	55,8168	0,2103	55,9768	0,21	55,9991	0,2102	55,9827	0,21	55,9984	0,2284	53,9579
120	0,21	55,9887	0,2116	55,8457	0,2102	55,9764	0,21	55,9992	0,2102	55,9884	0,21	55,9986	0,2268	54,1086
122	0,21	55,9929	0,2113	55,87	0,2102	55,9802	0,21	55,9998	0,2101	55,9907	0,21	55,9986	0,2254	54,244
124	0,21	55,9987	0,2111	55,8907	0,2101	55,9849	0,21	56	0,2101	55,9919	0,21	55,9988	0,2241	54,3724
126	0,21	56,0053	0,2109	55,9083	0,2101	55,9978	0,21	56,0002	0,2101	55,9938	0,21	55,9993	0,2229	54,4925
128	0,21	56,0058	0,2108	55,9231	0,2101	56,0097	0,21	56,0004	0,2101	55,9959	0,21	56	0,2218	54,6044
130	0,21	56,0009	0,2106	55,9358	0,2101	56,0066	0,21	56,0005	0,21	55,9981	0,21	56,0009	0,2208	54,7085
132	0,21	55,9933	0,2105	55,9463	0,21	55,9922	0,21	56,0004	0,21	55,9995	0,21	56,0021	0,2199	54,8048
134	0,21	55,9947	0,2105	55,9546	0,21	55,982	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0026	0,2191	54,8947
136	0,21	56,0024	0,2104	55,9612	0,21	55,9859	0,21	56,0001	0,21	55,9996	0,21	56,0029	0,2184	54,9781
138	0,21	56,0096	0,2103	55,9672	0,21	56,0024	0,21	56	0,21	55,999	0,21	56,0032	0,2177	55,0555
140	0,21	56,009	0,2103	55,973	0,21	56,0096	0,21	56,0001	0,21	55,9991	0,21	56,0034	0,217	55,1271
142	0,21	56,0073	0,2102	55,9778	0,21	56,0052	0,21	56,0001	0,21	55,9996	0,21	56,0036	0,2165	55,1933
144	0,21	56,0046	0,2102	55,9813	0,21	55,9889	0,21	56,0001	0,21	56,0005	0,21	56,0037	0,2159	55,2548
146	0,21	56,0009	0,2102	55,9839	0,21	55,9862	0,21	56,0002	0,21	56,0006	0,21	56,0036	0,2155	55,312
148	0,21	56,0019	0,2101	55,9868	0,21	55,992	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	56,0033	0,215	55,365
150	0,21	56,0041	0,2101	55,9898	0,21	56,0062	0,21	56,0003	0,21	55,9997	0,21	56,0029	0,2146	55,4137
152	0,21	56,0073	0,2101	55,9921	0,21	56,0061	0,21	56,0004	0,21	55,9995	0,21	56,0024	0,2142	55,4586
154	0,21	56,0117	0,2101	55,9933	0,21	56,0053	0,21	56,0004	0,21	55,9995	0,21	56,0018	0,2139	55,5003
156	0,21	56,0136	0,2101	55,994	0,21	56,0041	0,21	56,0004	0,21	56	0,21	56,0011	0,2136	55,5389
158	0,21	56,0111	0,2101	55,9943	0,21	56,0022	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0005	0,2133	55,5746
160	0,21	56,0069	0,21	55,9945	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	56,0001	0,213	55,6077
162	0,21	56,0011	0,21	55,995	0,21	56,0006	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	55,9998	0,2128	55,6381
164	0,21	55,9936	0,21	55,9956	0,21	56,0013	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	55,9995	0,2125	55,6663
166	0,21	55,9935	0,21	55,9966	0,21	56,0026	0,21	56,0003	0,21	56,0006	0,21	55,9993	0,2123	55,6924
168	0,21	55,9949	0,21	55,9976	0,21	56,0043	0,21	56,0003	0,21	56,0008	0,21	55,9991	0,2121	55,7166
170	0,21	55,998	0,21	55,9982	0,21	56,0056	0,21	56,0003	0,21	56,0008	0,21	55,999	0,212	55,739
172	0,21	56,0026	0,21	55,9986	0,21	56,0035	0,21	56,0003	0,21	56,0007	0,21	55,999	0,2118	55,76
174	0,21	56,0054	0,21	55,999	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	55,9991	0,2117	55,7796
176	0,21	56,0054	0,21	55,9991	0,21	55,9961	0,21	56,0003	0,21	55,9999	0,21	55,9992	0,2115	55,7967
178	0,21	56,0054	0,21	55,9993	0,21	55,9909	0,21	56,0003	0,21	55,9992	0,21	55,9992	0,2114	55,8121
180	0,21	56,0054	0,21	55,9993	0,21	55,9864	0,21	56,0003	0,21	55,9982	0,21	55,9993	0,2113	55,8256
182	0,21	56,0054	0,21	55,9992	0,21	55,9875	0,21	56,0003	0,21	55,998	0,21	55,9993	0,2112	55,838
184	0,21	56,0054	0,21	55,999	0,21	55,9901	0,21	56,0003	0,21	55,998	0,21	55,9994	0,2111	55,8508
186	0,21	56,0054	0,21	55,999	0,21	55,9943	0,21	56,0003	0,21	55,9981	0,21	55,9994	0,211	55,8635
188	0,21	56,0053	0,21	55,9992	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	55,9982	0,21	55,9995	0,2109	55,8766
190	0,21	56,0053	0,21	55,9994	0,21	56,0045	0,21	56,0003	0,21	55,9984	0,21	55,9995	0,2108	55,8871
192	0,21	56,0053	0,21	55,9998	0,21	56,0037	0,21	56,0003	0,21	55,9988	0,21	55,9997	0,2108	55,896
194	0,21	56,0047	0,21	56	0,21	56,0028	0,21	56,0003	0,21	55,9993	0,21	55,9998	0,2107	55,9039
196	0,21	56,0035	0,21	56,0002	0,21	56,002	0,21	56,0003	0,21	55,9999	0,21	55,9999	0,2107	55,9109
198	0,21	56,0023	0,21	56,0003	0,21	56,0011	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	56,0001	0,2106	55,9171
200	0,21	56,0011	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0002	0,2106	55,9226

t	16x	16Q	17x	17Q	23x	23Q	24x	24Q
0	1	42,9979	1	42,998	1	42,9979	1	42,9979
2,4	1	73,3882	1	39,796	1	39,7458	1	56,0011
4,8	0,9997	55,6804	1	39,688	1	39,6186	1	56,0242
7,2	0,9971	45,3617	1	39,727	1	39,6985	0,888	56,0225
9,6	0,9955	43,0204	1	39,728	1	39,7273	0,3143	55,7898
12	0,9939	40,0582	1	39,735	1	39,7378	0,21	56,0023
14,4	0,9912	40,0595	1	39,727	1	39,7398	0,21	56,0007
16,8	0,9876	39,5467	1	39,722	1	39,736	0,21	56,0012
19,2	0,9827	39,4748	1	39,706	1	39,7333	0,21	56,0008
21,6	0,9759	39,5196	1	39,696	1	39,7277	0,21	56,0004
24	0,9675	39,4239	1	39,687	1	39,7225	0,21	56,0004
26,4	0,9565	39,5367	1	39,68	1	39,7193	0,21	56,0004
28,8	0,9428	39,5838	1	39,673	1	39,7126	0,21	56,0004
31,2	0,9259	39,6494	1	39,666	1	39,7049	0,21	56,0004
33,6	0,9055	39,7387	1	39,66	1	39,7006	0,21	56,0004
36	0,8812	39,859	1	39,654	1	39,7035	0,21	56,0004
38,4	0,8528	40,0194	1	39,648	1	39,6887	0,21	56,0004
40,8	0,8203	40,2284	1	39,643	1	39,6872	0,21	56,0004
43,2	0,7836	40,4824	1	39,636	1	39,682	0,21	56,0004
45,6	0,7432	40,8143	1	39,63	1	39,6691	0,21	56,0004
48	0,6998	41,2159	1	39,62	1	39,6705	0,21	56,0004
50,4	0,6542	41,7013	1	39,617	1	39,6562	0,21	56,0004
52,8	0,6076	42,2648	1	39,611	0,9999	39,6557	0,21	56,0004
55,2	0,5613	42,914	0,996	39,659	0,9977	39,6893	0,21	56,0004
57,6	0,5163	43,6424	0,935	40,659	0,9492	40,5733	0,21	56,0004
60	0,4739	44,4369	0,578	48,183	0,5838	48,5377	0,21	56,0004
62,4	0,435	45,2828	0,27	54,854	0,2649	55,0268	0,21	56,0003
64,8	0,4	46,1575	0,217	55,859	0,2161	55,8923	0,21	56,0003
67,2	0,3692	47,07	0,211	55,984	0,2107	55,9873	0,21	56,0003
69,6	0,3427	47,9551	0,21	56,014	0,2101	55,9976	0,21	56,0003
72	0,3201	48,8183	0,21	55,998	0,21	55,9978	0,21	56,0003
74,4	0,3011	49,6431	0,21	56	0,21	55,9995	0,21	56,0003
76,8	0,2852	50,4133	0,21	56	0,21	56,0045	0,21	56,0003
79,2	0,2721	51,1214	0,21	55,999	0,21	55,9994	0,21	56,0003
81,6	0,2613	51,7673	0,21	56	0,21	55,9962	0,21	56,0003
84	0,2523	52,3482	0,21	56,005	0,21	55,9986	0,21	56,0003
86,4	0,245	52,8588	0,21	56,018	0,21	56	0,21	56,0003
88,8	0,2389	53,3118	0,21	56,002	0,21	56,0003	0,21	56,0003
91,2	0,2339	53,7083	0,21	56,005	0,21	55,9994	0,21	56,0003
93,6	0,2298	54,0503	0,21	56,005	0,21	55,999	0,21	56,0003
96	0,2265	54,3446	0,21	55,998	0,21	55,9991	0,21	56,0003
98,4	0,2236	54,5991	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003
101	0,2213	54,8175	0,21	56,002	0,21	56,0005	0,21	56,0003
103	0,2194	55,0034	0,21	55,999	0,21	56,0001	0,21	56,0003
106	0,2178	55,1599	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	56,0003
108	0,2165	55,2909	0,21	56,003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
110	0,2154	55,4037	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003
113	0,2145	55,4998	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003
115	0,2138	55,5803	0,21	55,999	0,21	56,0001	0,21	56,0003
118	0,2131	55,6481	0,21	55,999	0,21	56	0,21	56,0003

120	0,2126	55,7051	0,21	55,999	0,21	55,9998	0,21	56,0003
122	0,2122	55,7531	0,21	56	0,21	55,9995	0,21	56,0003
125	0,2118	55,7933	0,21	56,001	0,21	55,9992	0,21	56,0003
127	0,2115	55,8271	0,21	56,002	0,21	55,9991	0,21	56,0003
130	0,2112	55,8554	0,21	56,003	0,21	55,9992	0,21	56,0003
132	0,211	55,8787	0,21	56,002	0,21	55,9993	0,21	56,0003
134	0,2109	55,897	0,21	56	0,21	55,9995	0,21	56,0003
137	0,2107	55,9125	0,21	55,997	0,21	55,9999	0,21	56,0003
139	0,2106	55,9274	0,21	55,996	0,21	56	0,21	56,0003
142	0,2105	55,9402	0,21	55,998	0,21	56,0001	0,21	56,0003
144	0,2104	55,9496	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	56,0003
146	0,2103	55,9577	0,21	56,003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
149	0,2103	55,965	0,21	56,007	0,21	56,0004	0,21	56,0003
151	0,2102	55,9714	0,21	56,008	0,21	56,0004	0,21	56,0003
154	0,2102	55,9765	0,21	56,006	0,21	56,0004	0,21	56,0003
156	0,2102	55,9806	0,21	56,001	0,21	56,0003	0,21	56,0003
158	0,2101	55,9837	0,21	55,998	0,21	56,0003	0,21	56,0003
161	0,2101	55,9863	0,21	55,996	0,21	56,0002	0,21	56,0003
163	0,2101	55,9885	0,21	55,995	0,21	56,0002	0,21	56,0003
166	0,2101	55,9905	0,21	55,995	0,21	56,0002	0,21	56,0003
168	0,2101	55,9922	0,21	55,998	0,21	56,0002	0,21	56,0003
170	0,2101	55,9936	0,21	56,002	0,21	56,0002	0,21	56,0003
173	0,21	55,9949	0,21	56,004	0,21	56,0002	0,21	56,0003
175	0,21	55,9959	0,21	56,005	0,21	56,0002	0,21	56,0003
178	0,21	55,9966	0,21	56,005	0,21	56,0002	0,21	56,0003
180	0,21	55,9971	0,21	56,005	0,21	56,0002	0,21	56,0003
182	0,21	55,9976	0,21	56,003	0,21	56,0002	0,21	56,0003
185	0,21	55,9979	0,21	56,002	0,21	56,0002	0,21	56,0003
187	0,21	55,9983	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003
190	0,21	55,9985	0,21	55,999	0,21	56,0003	0,21	56,0003
192	0,21	55,9988	0,21	55,999	0,21	56,0004	0,21	56,0003
194	0,21	55,999	0,21	55,998	0,21	56,0005	0,21	56,0003
197	0,21	55,9991	0,21	55,998	0,21	56,0005	0,21	56,0003
199	0,21	55,9992	0,21	55,998	0,21	56,0006	0,21	56,0003
202	0,21	55,9993	0,21	55,999	0,21	56,0006	0,21	56,0003
204	0,21	55,9995	0,21	55,999	0,21	56,0007	0,21	56,0003
206	0,21	55,9997	0,21	56	0,21	56,0007	0,21	56,0003
209	0,21	55,9998	0,21	56,001	0,21	56,0008	0,21	56,0003
211	0,21	55,9998	0,21	56,001	0,21	56,0007	0,21	56,0003
214	0,21	55,9999	0,21	56,001	0,21	56,0007	0,21	56,0003
216	0,21	56	0,21	56,001	0,21	56,0006	0,21	56,0003
218	0,21	56	0,21	56,001	0,21	56,0006	0,21	56,0003
221	0,21	56,0001	0,21	56,001	0,21	56,0006	0,21	56,0003
223	0,21	56,0001	0,21	56,001	0,21	56,0005	0,21	56,0003
226	0,21	56,0002	0,21	56,001	0,21	56,0005	0,21	56,0003
228	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0005	0,21	56,0003
230	0,21	56,0003	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003
233	0,21	56,0003	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003
235	0,21	56,0003	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003
238	0,21	56,0003	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003
240	0,21	56,0003	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003

Tabla 13 simulaciones para parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

Donde t es el tiempo[segundos], x fracción molar.

t	1x	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
0	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
1,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
3,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
4,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
6,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
9,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
11,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
12,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
14,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
16	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
17,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
19,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
20,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
22,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
24	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
25,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
27,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8949	0,895	0,895
28,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8949	0,895	0,895
30,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8948	0,895	0,895
32	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8947	0,895	0,895
33,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8945	0,895	0,895
35,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8941	0,8949	0,895
36,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8937	0,8949	0,895
38,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,893	0,8947	0,895
40	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,892	0,8945	0,895
41,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8906	0,8942	0,895
43,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8887	0,8937	0,895
44,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8949	0,886	0,893
46,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8948	0,8824	0,8918	0,895
48	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8947	0,8776	0,89	0,895
49,6	0,895	0,8949	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8943	0,8712	0,8874	0,8949
51,2	0,895	0,8948	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8937	0,8628	0,8836	0,8948
52,8	0,895	0,8946	0,8949	0,895	0,895	0,895	0,8926	0,852	0,878	0,8946
54,4	0,895	0,8941	0,8948	0,895	0,895	0,895	0,8906	0,8382	0,8701	0,8941
56	0,8949	0,8929	0,8944	0,895	0,895	0,895	0,8873	0,8209	0,859	0,8931
57,6	0,8947	0,8905	0,8936	0,895	0,8949	0,895	0,8815	0,7995	0,8438	0,891
59,2	0,8941	0,8856	0,8915	0,8949	0,8947	0,8948	0,8719	0,7736	0,8232	0,8866
60,8	0,8923	0,8759	0,8865	0,8944	0,8941	0,8943	0,8561	0,743	0,7961	0,878
62,4	0,8874	0,8574	0,8749	0,8929	0,892	0,8925	0,8314	0,7076	0,7615	0,8616
64	0,8736	0,8247	0,8505	0,8876	0,8851	0,8864	0,7941	0,6676	0,719	0,832
65,6	0,8388	0,7717	0,8038	0,8692	0,8624	0,8659	0,7411	0,6243	0,669	0,7827
67,2	0,7671	0,6961	0,7273	0,8114	0,8	0,8057	0,6723	0,5781	0,6128	0,7093
68,8	0,6525	0,6024	0,6231	0,6895	0,6794	0,6843	0,5906	0,5312	0,553	0,6141
70,4	0,5121	0,5029	0,5066	0,518	0,5165	0,5174	0,5035	0,4851	0,4931	0,5082
72	0,3861	0,4133	0,4023	0,3633	0,3698	0,3667	0,4217	0,4413	0,4364	0,4096
73,6	0,3016	0,3434	0,3255	0,2753	0,282	0,2787	0,3538	0,4016	0,3861	0,3331
75,2	0,2548	0,2943	0,2761	0,2362	0,2405	0,2383	0,3032	0,366	0,3436	0,2817
76,8	0,2313	0,2619	0,2468	0,2203	0,2226	0,2214	0,2684	0,3354	0,3094	0,2504
78,4	0,2199	0,2415	0,2302	0,214	0,2151	0,2146	0,246	0,3097	0,2828	0,2323
80	0,2146	0,2289	0,2209	0,2116	0,2121	0,2118	0,2318	0,2888	0,2628	0,2221
81,6	0,2121	0,2213	0,2159	0,2106	0,2108	0,2107	0,2231	0,2716	0,2479	0,2166
83,2	0,211	0,2167	0,2132	0,2102	0,2103	0,2103	0,2178	0,2581	0,2371	0,2136
84,8	0,2105	0,2139	0,2117	0,2101	0,2101	0,2101	0,2147	0,2473	0,2292	0,2119
86,4	0,2102	0,2123	0,2109	0,2101	0,2101	0,2101	0,2128	0,2388	0,2236	0,211
88	0,2101	0,2114	0,2105	0,21	0,21	0,21	0,2116	0,2322	0,2196	0,2105
89,6	0,2101	0,2108	0,2103	0,21	0,21	0,21	0,211	0,2271	0,2168	0,2103
91,2	0,21	0,2105	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,2106	0,2232	0,2148	0,2102
92,8	0,21	0,2103	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,2103	0,2201	0,2134	0,2101
94,4	0,21	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,2178	0,2124	0,21
96	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,2159	0,2117	0,21
97,6	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,2146	0,2112	0,21
99,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2135	0,2108	0,21
100,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2127	0,2106	0,21
102,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,212	0,2104	0,21
104	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2115	0,2103	0,21
105,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2112	0,2102	0,21
107,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2109	0,2101	0,21
108,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2107	0,2101	0,21
110,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2105	0,2101	0,21
112	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2104	0,21	0,21
113,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2103	0,21	0,21
115,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,21	0,21
116,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,21	0,21
118,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21
120	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21
121,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21
123,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21
124,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
126,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
128	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
129,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
131,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
132,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
134,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
136	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
137,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
139,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
140,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
142,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
144	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
145,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
147,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
148,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
150,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
152	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
153,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
155,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
156,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
158,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
160	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

ANEXO D. DATOS DE LAS SIMULACIONES CON EL AJUSTE EN LA ISOTERMA.

Tabla 14. Simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Chung et al¹⁹.

Donde t es el tiempo[segundos],x fracción molar, Q caudal [l/min].

1*x	1*Q	2*x	2*Q	3*x	3*Q	t*	4*x	4*Q	5*x	5*Q	6*x	6*Q	7*x	7*Q	8*x	8*Q
1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	0	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979
1	49,7913	1	50,7719	1	49,5044	0,15	1	49,0097	1	51,4295	1	51,2516	1	51,4398	1	51,4792
1	50,7857	1	51,4889	1	51,0046	0,3	1	48,0026	1	51,5482	1	51,5616	1	51,5469	1	51,5621
1	51,2375	1	51,5616	1	51,4261	0,45	1	47,4505	1	51,5758	1	51,5662	1	51,5823	1	51,5749
1	51,4276	1	51,5702	1	51,5377	0,6	1	47,557	1	51,5723	1	51,5775	1	51,5684	1	51,5785
1	51,5099	1	51,5748	1	51,5654	0,75	1	47,9943	1	51,5801	1	51,5761	1	51,5821	1	51,5779
1	51,5457	1	51,5748	1	51,572	0,9	1	48,2611	1	51,5796	1	51,5792	1	51,5859	1	51,5776
1	51,5598	1	51,5753	1	51,5724	1,05	1	48,5589	1	51,5808	1	51,5781	1	51,5808	1	51,5786
1	51,5655	1	51,5747	1	51,57	1,2	1	48,9505	1	51,5792	1	51,5781	1	51,5809	1	51,5784
0,9999	51,5671	1	51,5745	1	51,5718	1,35	1	49,2919	1	51,5782	1	51,5764	1	51,5777	1	51,5774
0,9998	51,5168	1	51,574	1	51,5719	1,5	1	49,5392	1	51,5762	1	51,5754	1	51,5763	1	51,5776
0,9995	51,6336	1	51,5737	0,9999	51,5719	1,65	1	49,7769	1	51,5749	1	51,5747	1	51,5754	1	51,5777
0,9988	51,4987	1	51,5734	0,9998	51,5726	1,8	1	50,0313	1	51,5746	1	51,5747	1	51,5747	1	51,5768
0,9975	51,5299	1	51,573	0,9996	51,5736	1,95	1	50,25	1	51,5748	1	51,5746	1	51,5749	1	51,5764
0,9952	51,7142	0,9999	51,5734	0,999	51,5677	2,1	1	50,4128	1	51,5749	1	51,5746	1	51,5756	1	51,5765
0,9914	51,8211	0,9998	51,5723	0,9978	52,1465	2,25	1	50,5481	1	51,5754	1	51,5747	1	51,5768	1	51,5757
0,9854	51,5637	0,9995	51,5976	0,9955	51,6115	2,4	1	50,68	1	51,5759	1	51,575	1	51,5774	1	51,575
0,9766	51,7031	0,9988	51,5679	0,9915	51,5488	2,55	1	50,7996	1	51,5753	0,9999	51,5752	1	51,5769	1	51,5751
0,9639	51,7751	0,9971	51,5887	0,9848	51,6776	2,7	1	50,9006	0,9999	51,5752	0,9996	51,5746	1	51,5751	1	51,5745
0,9465	51,8894	0,9936	51,6074	0,9742	51,7455	2,85	1	50,9766	0,9997	51,5691	0,9989	51,5788	0,9999	51,5727	0,9998	51,5765
0,9237	52,0185	0,9869	51,6495	0,9582	51,8373	3	1	51,0418	0,9988	51,5798	0,9969	51,5732	0,9997	51,5786	0,9994	51,5756
0,8948	52,1841	0,9751	51,7219	0,9354	51,8235	3,15	1	51,1078	0,9964	51,5897	0,9923	51,6064	0,9988	51,5771	0,9979	51,5971
0,8597	52,395	0,9553	51,8323	0,9043	52,184	3,3	1	51,1737	0,9904	51,6411	0,9825	51,7088	0,9958	51,5955	0,994	51,6497
0,8184	52,6304	0,9242	52,0475	0,8642	52,4196	3,45	1	51,2307	0,9764	51,7745	0,9629	51,7982	0,9874	51,6355	0,9842	51,6543
0,7719	52,9229	0,879	52,2733	0,8151	52,7257	3,6	1	51,274	0,9477	51,8963	0,9277	51,9975	0,9666	51,788	0,9619	51,7714
0,7214	53,1743	0,8181	52,636	0,758	52,9796	3,75	1	51,3102	0,8949	52,149	0,8704	52,3393	0,9216	52,0474	0,9157	52,0148
0,6684	53,4984	0,7427	53,0553	0,6953	53,4508	3,9	1	51,3453	0,8109	52,7126	0,7879	52,8233	0,8391	52,5528	0,8324	52,4335
0,6148	53,7696	0,6577	53,5515	0,6301	53,8769	4,05	1	51,3774	0,6984	53,3733	0,6844	53,3737	0,7169	53,2532	0,7079	53,1553
0,5623	53,9575	0,57	54,0714	0,5653	54,1763	4,2	1	51,4041	0,5721	54,0549	0,5718	54,0395	0,5726	54,0742	0,5615	53,9695
0,5122	54,3511	0,4872	54,499	0,5041	54,5587	4,35	1	51,4238	0,4539	54,7362	0,4662	54,6495	0,4377	54,7963	0,4297	54,6145
0,4659	54,6184	0,4149	54,9009	0,4484	54,8288	4,5	1	51,4375	0,3606	55,2427	0,3793	55,1641	0,3371	55,3511	0,3348	55,2672
0,4241	54,8676	0,3561	55,2341	0,3998	55,1482	4,65	1	51,4513	0,2967	55,5774	0,3156	55,4475	0,2748	55,6794	0,2763	55,5884
0,3871	55,0665	0,3111	55,4772	0,3586	55,2689	4,8	1	51,467	0,2573	55,7756	0,2729	55,7018	0,2409	55,8486	0,2438	55,8057
0,355	55,4027	0,2781	55,6342	0,3247	55,4638	4,95	1	51,4824	0,2347	55,8853	0,2461	55,8199	0,2241	55,9296	0,2267	55,9037
0,3276	55,4478	0,2549	55,8177	0,2974	55,6066	5,1	1	51,495	0,2225	55,9418	0,2301	56,0221	0,2161	55,9657	0,218	55,9641
0,3046	55,4632	0,239	55,8686	0,2757	55,7096	5,25	1	51,5057	0,2162	55,9705	0,2209	55,8901	0,2126	55,9874	0,2138	55,943
0,2853	55,688	0,2284	55,9073	0,259	55,7878	5,4	1	51,514	0,2129	55,9864	0,2158	56,0052	0,211	55,9953	0,2118	55,9857
0,2697	55,7045	0,2215	55,9482	0,2461	55,8463	5,55	1	51,5216	0,2114	55,9943	0,213	55,945	0,2104	55,9988	0,2108	55,9208
0,257	55,7644	0,2171	55,9652	0,2364	55,8896	5,7	1	51,5291	0,2106	55,9977	0,2115	56,0311	0,2102	55,9997	0,2104	56,0376
0,2468	55,8172	0,2144	55,9791	0,2291	55,9213	5,85	1	51,5355	0,2103	55,9993	0,2108	55,9848	0,2101	55,9989	0,2102	55,8653
0,2386	55,8675	0,2126	55,9875	0,2238	55,9444	6	1	51,539	0,2101	56,0037	0,2104	56,0118	0,21	56,0007	0,2101	55,9734
0,2321	55,8853	0,2115	55,9925	0,2198	55,961	6,15	1	51,5408	0,2101	55,9988	0,2102	55,9941	0,21	56	0,21	56,0019
0,227	55,9168	0,2109	55,996	0,217	55,9729	6,3	1	51,5432	0,21	56,0008	0,2101	56,0006	0,21	56,0004	0,21	56,0067
0,223	55,9607	0,2105	55,997	0,2149	55,9814	6,45	1	51,5476	0,21	56,0056	0,21	56,0077	0,21	56,0003	0,21	55,9972
0,2199	55,9716	0,2103	55,9952	0,2134	55,9873	6,6	1	51,5525	0,21	56,0038	0,21	56,0025	0,21	55,9999	0,21	56,0006
0,2175	55,9534	0,2102	56,026	0,2124	55,9914	6,75	1	51,5568	0,21	56,0045	0,21	56,0005	0,21	56	0,21	55,9995
0,2157	55,9603	0,2101	56,0271	0,2116	55,9941	6,9	1	51,5603	0,21	56,0019	0,21	55,9986	0,21	56,0003	0,21	56,0005
0,2143	56,0128	0,21	55,9663	0,2111	55,9998	7,05	1	51,5622	0,21	55,9998	0,21	55,9882	0,21	56,0003	0,21	55,9998
0,2132	56,0022	0,21	56,02	0,2108	55,9987	7,2	1	51,564	0,21	55,9999	0,21	55,9853	0,21	56,0004	0,21	55,9998

0,2124	55,9795	0,21	56,0068	0,2105	55,9944	7,35	1	51,5651	0,21	56,0002	0,21	55,995	0,21	56,0006	0,21	55,9999
0,2118	55,999	0,21	55,9914	0,2103	56,0025	7,5	1	51,5661	0,21	55,9992	0,21	55,9968	0,21	56,0004	0,21	56
0,2113	55,9917	0,21	55,9961	0,2102	55,9994	7,65	1	51,5651	0,21	55,9975	0,21	56,0008	0,21	56,0001	0,21	56,0001
0,211	56,0099	0,21	55,9986	0,2101	55,9919	7,8	1	51,5651	0,21	55,9974	0,21	56,0047	0,21	56	0,21	56,0001
0,2107	56,0063	0,21	56,0041	0,2101	56,0059	7,95	1	51,569	0,21	55,9984	0,21	56,0049	0,21	56	0,21	56,0002
0,2105	55,9879	0,21	56,0054	0,2101	56,0019	8,1	1	51,5673	0,21	55,9995	0,21	56,0042	0,21	56,0001	0,21	56,0003
0,2104	55,9984	0,21	56,0028	0,21	55,9899	8,25	1	51,5696	0,21	55,9995	0,21	56,0028	0,21	56,0001	0,21	56,0003
0,2103	56,0065	0,21	56,0017	0,21	56,0028	8,4	1	51,5715	0,21	55,9996	0,21	56,0008	0,21	56,0002	0,21	56,0003
0,2102	55,9892	0,21	56,0015	0,21	56,0021	8,55	1	51,5714	0,21	55,9997	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,21	55,9998
0,2102	55,9964	0,21	56,0001	0,21	55,9983	8,7	1	51,5758	0,21	55,9998	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,21	55,9994
0,2101	56,0119	0,21	55,9979	0,21	55,9989	8,85	1	51,5722	0,21	55,9999	0,21	56,0001	0,21	56,0004	0,21	55,9989
0,2101	55,9943	0,21	55,9985	0,21	56,0034	9	1	51,5735	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	56,0004	0,21	55,9985
0,2101	55,9947	0,21	56,0009	0,21	56,0032	9,15	1	51,5686	0,21	56,0001	0,21	56,0001	0,21	56,0004	0,21	55,9986
0,21	56,0083	0,21	56,0001	0,21	55,9989	9,3	1	51,576	0,21	56,0002	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	55,9988
0,21	56,0211	0,21	55,9997	0,21	55,9984	9,45	1	51,5729	0,21	56,0003	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	55,999
0,21	56,0149	0,21	55,9997	0,21	56,0016	9,6	1	51,5709	0,21	56,0003	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	55,9992
0,21	55,9942	0,21	55,9999	0,21	56,0023	9,75	1	51,5724	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	55,9994
0,21	55,9922	0,21	56,0005	0,21	56,0004	9,9	1	51,5731	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	55,9996
0,21	56,0045	0,21	56,0011	0,21	56,0009	10,05	1	51,5736	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	55,9997
0,21	56,0104	0,21	56,0011	0,21	56,0016	10,2	1	51,5739	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	55,9999
0,21	56,0029	0,21	56,001	0,21	56,002	10,35	1	51,5748	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0001
0,21	55,9904	0,21	56,0009	0,21	56,0022	10,5	1	51,5751	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9907	0,21	56,0008	0,21	56,0022	10,65	1	51,5741	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0001	0,21	56,0006	0,21	56,0019	10,8	1	51,5734	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9986	0,21	56,0005	0,21	56,0013	10,95	1	51,5731	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9978	0,21	56,0004	0,21	56,0011	11,1	1	51,5729	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9976	0,21	56,0004	0,21	56,0011	11,25	1	51,5771	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9981	0,21	56,0003	0,21	56,0009	11,4	1	51,5731	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9993	0,21	56,0003	0,21	56,0008	11,55	1	51,5728	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0002	0,21	56,0005	11,7	1	51,5741	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0001	0,21	56,0002	0,21	56,0003	11,85	1	51,5742	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9999	0,21	56,0002	0,21	56	12	1	51,5747	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9997	0,21	56,0002	0,21	55,9998	12,15	1	51,5744	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9994	0,21	56,0002	0,21	55,9998	12,3	1	51,5742	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9992	0,21	56,0002	0,21	55,9998	12,45	1	51,5738	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9991	0,21	56,0003	0,21	55,9998	12,6	1	51,574	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9991	0,21	56,0003	0,21	55,9999	12,75	1	51,575	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9992	0,21	56,0003	0,21	56	12,9	1	51,5729	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9994	0,21	56,0003	0,21	56,0002	13,05	1	51,5722	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9997	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,2	1	51,573	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	55,9999	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,35	1	51,5765	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,5	1	51,5737	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,65	1	51,5741	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,8	1	51,5715	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	13,95	1	51,5758	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,1	1	51,5735	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,25	1	51,5726	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,4	1	51,5724	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,55	1	51,5708	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,7	1	51,5735	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	14,85	1	51,5727	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004
0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	15	1	51,5718	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003

t	9*x	9*Q	10*x	10*Q	11*x	11*Q	12*x	12*Q	13*x	13*Q	14*x	14*Q	15*x	15*Q	t	16*x	16*Q	17*x	17*Q	23*x	23*Q	24*x	24*Q
0	1	42,9979	1	42,9979	1	42,998	1		1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	0	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979	1	42,9979
2	1	65,2579	1	81,6791	1	77,564	1	42,9979	1	69,2605	1	55,1447	1	76,6303	2,4	1	94,0901	1	51,7078	1	51,6089	1	56,0011
4	1	52,6148	0,9997	73,8839	1	63,675	1	63,6803	1	60,6024	1	51,304	0,9993	86,1139	4,8	0,9864	77,1875	1	51,5873	1	51,5647	1	56,001
6	1	51,3403	0,9888	64,1008	0,9986	55,895	1	54,9697	0,9996	55,3646	1	51,4024	0,9284	82,531	7,2	0,967	60,8372	1	51,5851	1	51,5831	0,8942	56,0529
8	0,9999	51,4068	0,9791	57,582	0,9961	52,851	0,9999	52,3033	0,998	53,0191	1	51,5152	0,8711	73,6422	9,6	0,9569	55,154	1	51,5729	1	51,5644	0,3068	56,1355
10	0,9997	51,486	0,9709	54,2012	0,9929	51,664	0,9995	51,6516	0,9955	52,0517	1	51,5496	0,8534	67,8094	12	0,9438	52,3474	1	51,5762	1	51,5829	0,2086	55,259
12	0,9991	51,468	0,961	52,4819	0,9881	51,73	0,9986	51,5248	0,9916	51,6583	1	51,5629	0,8354	63,193	14,4	0,9269	51,067	1	51,5819	1	51,5806	0,2097	55,7601
14	0,9979	51,4919	0,9483	51,5666	0,9808	51,255	0,9968	51,4879	0,9856	51,4662	0,9999	51,5749	0,8126	59,6725	16,8	0,9062	50,3333	1	51,5722	1	51,578	0,2098	55,5332
16	0,9956	51,5211	0,9332	51,0571	0,9719	51,124	0,9936	51,5369	0,9772	51,377	0,9995	51,5685	0,7961	57,3569	19,2	0,8821	50,0202	1	51,5823	1	51,5799	0,21	55,95
18	0,9917	51,4718	0,9152	50,7256	0,9598	51,111	0,9882	51,5823	0,9658	51,3055	0,9987	51,2465	0,7746	55,3395	21,6	0,8542	49,3326	1	51,5742	1	51,5738	0,21	55,834
20	0,9854	51,4156	0,8945	50,4964	0,944	50,998	0,9801	51,4767	0,9509	51,2412	0,9969	51,5682	0,7524	53,7811	24	0,8229	49,3881	1	51,5794	1	51,5788	0,21	55,8681
22	0,976	51,2575	0,8709	50,3172	0,9251	50,868	0,9683	51,6048	0,9322	51,1789	0,9934	51,6681	0,7299	52,5103	26,4	0,7885	49,1814	1	51,5724	1	51,5727	0,21	55,9022
24	0,9624	51,5309	0,8447	50,1725	0,9018	50,777	0,9519	51,2972	0,9099	51,1208	0,9869	52,4691	0,7061	51,7781	28,8	0,7512	49,031	1	51,5758	1	51,5769	0,21	55,9364
26	0,9437	51,2278	0,8159	50,0564	0,8747	50,686	0,9302	51,3908	0,8821	51,0727	0,9764	51,6346	0,6823	50,9634	31,2	0,7114	48,975	0,9997	51,5768	0,9999	51,5703	0,21	55,9705
28	0,919	50,9867	0,7846	49,963	0,8435	50,601	0,9025	51,3589	0,8506	51,0381	0,9596	51,4922	0,6585	50,4404	33,6	0,67	48,8383	0,997	51,585	0,9986	51,5789	0,21	55,9986
30	0,8874	50,9876	0,7513	49,8999	0,8084	50,538	0,8684	51,337	0,8149	51,0262	0,9348	51,5038	0,6345	49,9905	36	0,6275	48,8422	0,9792	51,6791	0,9864	51,6499	0,21	55,9981
32	0,8484	51,0244	0,7163	49,867	0,7696	50,488	0,8278	51,406	0,7754	51,0379	0,9	51,4971	0,6105	49,7831	38,4	0,5847	48,9161	0,9024	52,0702	0,9172	52,0699	0,21	55,9975
34	0,8019	50,9758	0,68	49,8685	0,7278	50,486	0,7811	51,3365	0,7328	51,0901	0,8537	51,5507	0,5868	49,4191	40,8	0,5426	49,0461	0,7055	53,1525	0,7125	53,2873	0,21	55,997
36	0,7484	50,9851	0,6429	49,9067	0,6835	50,524	0,7292	51,4137	0,6878	51,173	0,7954	51,6613	0,5634	49,261	43,2	0,5019	49,2296	0,449	54,617	0,4394	54,8306	0,21	55,9964
38	0,689	51,0873	0,6055	49,9839	0,6378	50,613	0,6735	51,5156	0,6414	51,2997	0,7262	51,8233	0,5405	49,029	45,6	0,4634	49,5226	0,2857	55,5719	0,2761	55,6932	0,21	55,9962
40	0,6259	51,1924	0,5684	50,1011	0,5915	50,714	0,6159	51,6794	0,5947	51,4686	0,6491	52,0951	0,5184	48,986	48	0,4277	49,8218	0,2283	55,8931	0,2247	55,9392	0,21	55,9973
42	0,5616	51,3358	0,5321	50,2583	0,5458	50,908	0,5583	51,8842	0,5487	51,68	0,569	52,4358	0,4965	48,9744	50,4	0,3952	50,1774	0,2138	55,9791	0,2128	55,9925	0,21	55,9984
44	0,4989	51,8211	0,4972	50,4536	0,5017	51,201	0,5029	52,1313	0,5045	51,9324	0,4914	52,9108	0,4761	49,2304	52,8	0,3663	50,5945	0,2107	55,9972	0,2105	55,9983	0,21	55,9995
46	0,4409	52,279	0,4641	50,6843	0,4601	51,465	0,4515	52,461	0,463	52,1992	0,4215	53,4224	0,4562	49,2772	55,2	0,3409	51,0251	0,2101	55,9992	0,2101	56	0,21	56,0006
48	0,3894	52,9092	0,4331	50,9464	0,4219	51,789	0,4053	52,7983	0,4248	52,5211	0,3627	53,9073	0,4373	49,3771	57,6	0,319	51,4713	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0016
50	0,3461	53,2305	0,4045	51,2346	0,3874	52,147	0,3652	53,1337	0,3904	52,8316	0,3165	54,4017	0,4193	49,5111	60	0,3003	51,9061	0,21	56,0007	0,21	56,0002	0,21	56,0014
52	0,3108	53,7179	0,3784	51,5428	0,3567	52,526	0,3314	53,6411	0,3599	53,1468	0,282	54,8299	0,4024	49,6578	62,4	0,2845	52,3641	0,21	56,0008	0,21	56,001	0,21	56,0013
54	0,2833	54,143	0,355	51,8646	0,3303	52,883	0,3036	53,9218	0,3334	53,5226	0,2575	55,1689	0,3866	49,808	64,8	0,2714	52,7652	0,21	56,0004	0,21	56,0001	0,21	56,0011
56	0,2625	54,5703	0,3341	52,1933	0,3077	53,264	0,2812	54,2869	0,3107	53,7801	0,2407	55,4291	0,3717	49,9968	67,2	0,2605	53,1706	0,21	56	0,21	56,0006	0,21	56,0009
58	0,2471	54,9312	0,3158	52,5226	0,2888	53,624	0,2636	54,5997	0,2916	54,0994	0,2295	55,619	0,3579	50,1558	69,6	0,2515	53,5189	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0008
60	0,2359	55,1898	0,2998	52,8466	0,2731	53,955	0,25	54,8777	0,2757	54,1642	0,2222	55,7514	0,345	50,4573	72	0,244	53,8803	0,21	56,0003	0,21	56,0002	0,21	56,0006
62	0,228	55,4113	0,2859	53,1602	0,2603	54,268	0,2396	55,1427	0,2626	54,5929	0,2175	55,841	0,3331	50,6503	74,4	0,238	54,1228	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,21	56,0005
64	0,2224	55,5734	0,274	53,4594	0,2499	54,514	0,2317	55,3295	0,2518	54,844	0,2146	55,9002	0,3221	50,8443	76,8	0,233	54,42	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,21	56,0003
66	0,2184	55,697	0,2638	53,7412	0,2415	54,788	0,2258	55,451	0,2431	55,0379	0,2127	55,9383	0,312	51,0792	79,2	0,2289	54,6699	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0001
68	0,2157	55,7867	0,2551	54,0031	0,2348	54,995	0,2215	55,604	0,2361	55,2059	0,2116	55,9623	0,3028	51,315	81,6	0,2256	54,8339	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56
70	0,2139	55,8507	0,2478	54,2441	0,2295	55,173	0,2183	55,7274	0,2306	55,3494	0,211	55,9773	0,2943	51,556	84	0,2228	54,9677	0,21	56,0005	0,21	56,0003	0,21	56
72	0,2126	55,905	0,2416	54,4635	0,2253	55,322	0,2159	55,7541	0,2261	55,4703	0,2106	55,9865	0,2866	51,7823	86,4	0,2205	55,1561	0,21	56,0005	0,21	56,0002	0,21	56,0001
74	0,2118	55,9249	0,2364	54,6617	0,222	55,449	0,2142	55,8175	0,2226	55,5714	0,2103	55,9922	0,2795	52,0356	88,8	0,2187	55,3572	0,21	56,0005	0,21	56,0002	0,21	56,0001
76	0,2112	55,964	0,2321	54,839	0,2193	55,561	0,213	55,958	0,2198	55,6551	0,2102	55,9956	0,2731	52,3296	91,2	0,2172	55,4063	0,21	56,0005	0,21	56,0002	0,21	56,0002
78	0,2108	55,9629	0,2284	54,9966	0,2173	55,655	0,2121	55,9104	0,2176	55,7237	0,2101	55,9975	0,2672	52,4472	93,6	0,2159	55,5148	0,21	56,0005	0,21	56,0002	0,21	56,0002
80	0,2105	55,984	0,2254	55,1357	0,2157	55,716	0,2115	55,9092	0,2159	55,7799	0,2101	55,9984	0,2619	52,6526	96	0,2149	55,5913	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003
82	0,2103	55,9837	0,2228	55,2578	0,2144	55,774	0,211	55,973	0,2146	55,8253	0,21	55,9992	0,2571	52,8531	98,4	0,214	55,653	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,21	56,0003
84	0,2102	55,9923	0,2207	55,3644	0,2134	55,821	0,2107	55,9918	0,2135	55,8623	0,21	55,9997	0,2527	53,0451	100,8	0,2133	55,7145	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	56,0004
86	0,2102	55,9948	0,2189	55,4572	0,2126	55,858	0,2105	55,9673	0,2127	55,8953	0,21	55,9997	0,2488	53,2304	103,2	0,2127	55,7591	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,21	56,0004
88	0,2101	55,9827	0,2174	55,5375	0,212	55,888	0,2104	55,9891	0,2121	55,916	0,21	55,9993	0,2452	53,4081	105,6	0,2123	55,7997	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,21	56,0005
90	0,2101	55,9932	0,2161	55,6068	0,2116	55,912	0,2102	56,0102	0,2116	55,9308	0,21	56	0,242	53,5773	108	0,2119	55,833	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0004
92	0,21	56,0053	0,2151	55,6664	0,2112	55,931	0,2102	56,0135	0,2112	55,9536	0,21	56,0008	0,239	53,7446	110,4	0,2115	55						

98	0,21	56,0074	0,2129	55,7986	0,2106	55,967	0,2101	55,9964	0,2106	55,9756	0,21	56,0005	0,2317	54,2384	117,6	0,2109	55,92	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003
100	0,21	55,9963	0,2124	55,8302	0,2104	55,974	0,21	56,0004	0,2104	55,9815	0,21	56,0032	0,2298	54,3899	120	0,2107	55,9334	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
102	0,21	55,9972	0,212	55,8571	0,2103	55,98	0,21	56,0045	0,2103	55,9859	0,21	56,0087	0,228	54,5287	122,4	0,2106	55,9447	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0002
104	0,21	56,0002	0,2117	55,88	0,2103	55,984	0,21	56,0059	0,2102	55,9889	0,21	56,0099	0,2263	54,647	124,8	0,2105	55,9542	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
106	0,21	56,0038	0,2114	55,8992	0,2102	55,988	0,21	56,0032	0,2102	55,9915	0,21	56,0064	0,2249	54,7412	127,2	0,2104	55,9621	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
108	0,21	56,0049	0,2112	55,9154	0,2102	55,991	0,21	56,0008	0,2101	55,9935	0,21	56,0007	0,2236	54,809	129,6	0,2103	55,9686	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
110	0,21	56,0035	0,211	55,9291	0,2101	55,993	0,21	55,9987	0,2101	55,9937	0,21	55,9991	0,2224	54,8453	132	0,2103	55,9739	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
112	0,21	56,0005	0,2108	55,9406	0,2101	55,995	0,21	55,9979	0,2101	55,992	0,21	56,0004	0,2213	54,899	134,4	0,2102	55,9783	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
114	0,21	55,9983	0,2107	55,9504	0,2101	55,996	0,21	55,9996	0,2101	55,9911	0,21	56,0004	0,2203	54,9721	136,8	0,2102	55,982	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
116	0,21	55,9987	0,2105	55,9587	0,2101	55,997	0,21	56,0011	0,21	55,9929	0,21	56,0003	0,2194	55,0598	139,2	0,2102	55,985	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0002
118	0,21	55,9999	0,2105	55,9656	0,21	55,998	0,21	56,0014	0,21	55,9956	0,21	56,0002	0,2186	55,1515	141,6	0,2101	55,9876	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003
120	0,21	56,0013	0,2104	55,9715	0,21	55,998	0,21	56,0015	0,21	55,9964	0,21	56	0,2178	55,2524	144	0,2101	55,9898	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
122	0,21	56,0011	0,2103	55,9762	0,21	55,999	0,21	56,0016	0,21	55,9962	0,21	56	0,2171	55,3308	146,4	0,2101	55,9916	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
124	0,21	56,0004	0,2103	55,9802	0,21	55,999	0,21	56,0015	0,21	55,9978	0,21	56	0,2165	55,3872	148,8	0,2101	55,9931	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
126	0,21	55,9993	0,2102	55,9836	0,21	55,999	0,21	56,0012	0,21	56,0009	0,21	56,0002	0,2159	55,4248	151,2	0,2101	55,9944	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004
128	0,21	55,9994	0,2102	55,9863	0,21	55,999	0,21	56,0007	0,21	56,0012	0,21	56,0003	0,2154	55,442	153,6	0,2101	55,9954	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004
130	0,21	55,9995	0,2101	55,9887	0,21	56	0,21	55,9992	0,21	56,0012	0,21	56,0003	0,215	55,4482	156	0,21	55,9962	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004
132	0,21	55,9997	0,2101	55,9907	0,21	56	0,21	55,9972	0,21	56,0008	0,21	56,0003	0,2145	55,4786	158,4	0,21	55,9969	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0004
134	0,21	55,9998	0,2101	55,9923	0,21	56	0,21	55,9947	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,2141	55,5271	160,8	0,21	55,9975	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
136	0,21	55,9999	0,2101	55,9937	0,21	56	0,21	55,9918	0,21	55,9997	0,21	56,0003	0,2138	55,5841	163,2	0,21	55,998	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
138	0,21	56	0,2101	55,9949	0,21	56	0,21	55,9892	0,21	55,9995	0,21	56,0003	0,2135	55,6267	165,6	0,21	55,9985	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
140	0,21	56,0002	0,2101	55,9958	0,21	56	0,21	55,9897	0,21	55,9995	0,21	56,0003	0,2132	55,6648	168	0,21	55,9989	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
142	0,21	56,0003	0,21	55,9967	0,21	56	0,21	55,9911	0,21	55,9999	0,21	56,0003	0,2129	55,6965	170,4	0,21	55,9992	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
144	0,21	56,0004	0,21	55,9973	0,21	56	0,21	55,9934	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2126	55,7204	172,8	0,21	55,9994	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
146	0,21	56,0005	0,21	55,9978	0,21	56	0,21	55,9967	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,2124	55,7339	175,2	0,21	55,9996	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
148	0,21	56,0007	0,21	55,9982	0,21	56	0,21	55,999	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,2122	55,746	177,6	0,21	55,9997	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
150	0,21	56,0008	0,21	55,9986	0,21	56	0,21	55,9995	0,21	56,0005	0,21	56,0004	0,212	55,7631	180	0,21	55,9998	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
152	0,21	56,001	0,21	55,9989	0,21	56	0,21	55,9996	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,2119	55,7839	182,4	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
154	0,21	56,0011	0,21	55,9991	0,21	56	0,21	55,9993	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,2117	55,8036	184,8	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
156	0,21	56,0013	0,21	55,9994	0,21	56	0,21	55,9985	0,21	56,0004	0,21	56,0004	0,2116	55,8212	187,2	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
158	0,21	56,0014	0,21	55,9996	0,21	56	0,21	55,9984	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,2114	55,8383	189,6	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
160	0,21	56,0016	0,21	55,9997	0,21	56	0,21	55,9986	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,2113	55,8534	192	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
162	0,21	56,0017	0,21	55,9999	0,21	56	0,21	55,9987	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,2112	55,8666	194,4	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
164	0,21	56,0019	0,21	56	0,21	56	0,21	55,9989	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,2111	55,8778	196,8	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
166	0,21	56,002	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	55,9991	0,21	56,0002	0,21	56,0004	0,211	55,887	199,2	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
168	0,21	56,0018	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	55,9993	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,2109	55,8939	201,6	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
170	0,21	56,0016	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	55,9994	0,21	56,0003	0,21	56,0004	0,2108	55,9019	204	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
172	0,21	56,0014	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	55,9996	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2108	55,9092	206,4	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
174	0,21	56,0011	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	55,9998	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2107	55,916	208,8	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
176	0,21	56,0009	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2106	55,9223	211,2	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
178	0,21	56,0007	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2106	55,9282	213,6	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
180	0,21	56,0005	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2105	55,9338	216	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
182	0,21	56,0003	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0001	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2105	55,9391	218,4	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
184	0,21	56,0001	0,21	56,0001	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2105	55,9443	220,8	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
186	0,21	55,9999	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2104	55,9495	223,2	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
188	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2104	55,9544	225,6	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
190	0,21	56	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2103	55,9585	228	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
192	0,21	56,0001	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2103	55,9623	230,4	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21	56,0003
194	0,21	56,0002	0,21	56,0002	0,21	56	0,21	56,0004	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,2103	55,9657	232,8	0,21	56,0003	0,21	56,0003	0,21			

Tabla 15. Simulaciones con el ajuste en la isoterma los parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

t	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*
0	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
1,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
3,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
4,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
6,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
9,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
11,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
12,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
14,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
16	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
17,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
19,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
20,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
22,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
24	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
25,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
27,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
28,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
30,4	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
32	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
33,6	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
35,2	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
36,8	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
38,4	0,887	0,8661	0,8775	0,8927	0,8916	0,8922	0,8505	0,7704	0,807	0,8692	0,81
40	0,8784	0,8483	0,864	0,889	0,8868	0,888	0,8304	0,7445	0,782	0,8532	0,7848
41,6	0,8631	0,8229	0,8426	0,8805	0,8765	0,8786	0,8039	0,7157	0,753	0,8301	0,7552
43,2	0,8371	0,7883	0,811	0,8629	0,8565	0,8598	0,7702	0,6843	0,719	0,798	0,721
44,8	0,7968	0,7439	0,7673	0,8298	0,8212	0,8254	0,729	0,6508	0,682	0,7558	0,6828
46,4	0,7394	0,6904	0,7111	0,7743	0,7648	0,7693	0,6805	0,6153	0,641	0,7032	0,6413
48	0,6656	0,6298	0,6446	0,6932	0,6855	0,6891	0,626	0,5787	0,597	0,6414	0,5974
49,6	0,5812	0,5656	0,572	0,5928	0,5896	0,591	0,5674	0,5416	0,553	0,5737	0,5522
51,2	0,495	0,5018	0,4992	0,4875	0,4898	0,4887	0,5078	0,5048	0,508	0,5045	0,5073
52,8	0,4163	0,4421	0,4318	0,3942	0,4006	0,3976	0,4502	0,4689	0,464	0,4396	0,4638
54,4	0,3517	0,3892	0,3738	0,3233	0,3311	0,3274	0,3975	0,4346	0,423	0,3804	0,423
56	0,303	0,3447	0,327	0,2756	0,2828	0,2794	0,3519	0,4026	0,386	0,3322	0,3857
57,6	0,2688	0,309	0,2912	0,2462	0,2518	0,2492	0,3143	0,3732	0,352	0,2949	0,3524
59,2	0,2461	0,2812	0,265	0,2293	0,2332	0,2313	0,2847	0,3468	0,323	0,2672	0,3241
60,8	0,2315	0,2604	0,2464	0,22	0,2225	0,2213	0,2623	0,3235	0,299	0,2477	0,3001
62,4	0,2226	0,245	0,2337	0,215	0,2166	0,2158	0,2459	0,3033	0,279	0,2343	0,2802
64	0,2172	0,234	0,2252	0,2124	0,2134	0,2129	0,2343	0,2861	0,263	0,2253	0,2642
65,6	0,214	0,2263	0,2196	0,2112	0,2117	0,2114	0,2261	0,2715	0,25	0,2195	0,2513
67,2	0,2122	0,2209	0,2159	0,2105	0,2108	0,2107	0,2206	0,2594	0,24	0,2159	0,2412
68,8	0,2112	0,2172	0,2136	0,2102	0,2104	0,2103	0,2169	0,2494	0,232	0,2135	0,2334
70,4	0,2106	0,2147	0,2122	0,2101	0,2102	0,2101	0,2144	0,2413	0,227	0,2121	0,2274
72	0,2103	0,213	0,2113	0,21	0,2101	0,2101	0,2128	0,2347	0,222	0,2112	0,2229
73,6	0,2102	0,2119	0,2108	0,21	0,21	0,21	0,2118	0,2294	0,219	0,2107	0,2194
75,2	0,2101	0,2112	0,2104	0,21	0,21	0,21	0,2111	0,2253	0,216	0,2104	0,2169
76,8	0,21	0,2108	0,2103	0,21	0,21	0,21	0,2107	0,2219	0,215	0,2102	0,215
78,4	0,21	0,2105	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,2104	0,2193	0,213	0,2101	0,2136
80	0,21	0,2103	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,2172	0,212	0,2101	0,2126
81,6	0,21	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,2155	0,212	0,21	0,2118
83,2	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,2143	0,211	0,21	0,2113
84,8	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2133	0,211	0,21	0,2109
86,4	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2125	0,211	0,21	0,2106
88	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2119	0,21	0,21	0,2104
89,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2115	0,21	0,21	0,2103
91,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2111	0,21	0,21	0,2102
92,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2108	0,21	0,21	0,2101
94,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2106	0,21	0,21	0,2101
96	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2105	0,21	0,21	0,2101
97,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2104	0,21	0,21	0,21
99,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2103	0,21	0,21	0,21
100,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,21	0,21	0,21
102,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2102	0,21	0,21	0,21
104	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21
105,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21
107,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21
108,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,21	0,21
110,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
112	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
113,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
115,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
116,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
118,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
120	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
121,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
123,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
124,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
126,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
128	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
129,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
131,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
132,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
134,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
136	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
137,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
139,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
140,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
142,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
144	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
145,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
147,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
148,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
150,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
152	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
153,6	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
155,2	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
156,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
158,4	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
160	0,21	0,21	0,21	0,21							

12*	13*	14*	15*	16*	17*	18*	19*	20*	21*	22*	23*
0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
0,895	0,894	0,8938	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
0,895	0,871	0,8889	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8923
0,895	0,837	0,8847	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8176
0,895	0,823	0,8809	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8522	0,895	0,895
0,895	0,811	0,8768	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8383	0,895	0,895
0,895	0,801	0,8719	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8273	0,895	0,895
0,895	0,79	0,8658	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8165	0,895	0,895
0,895	0,778	0,8599	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,8059	0,895	0,895
0,895	0,766	0,8519	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7937	0,895	0,895
0,895	0,754	0,8431	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7806	0,895	0,895
0,8949	0,741	0,8341	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7671	0,895	0,895
0,8948	0,728	0,8228	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7527	0,895	0,895
0,8945	0,714	0,811	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7371	0,895	0,895
0,8939	0,7	0,7984	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7209	0,895	0,895
0,8929	0,686	0,784	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,7041	0,895	0,895
0,8913	0,671	0,7687	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,6868	0,895	0,895
0,8885	0,656	0,7527	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,6689	0,895	0,895
0,8843	0,641	0,7353	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,6504	0,895	0,895
0,878	0,626	0,7168	0,8949	0,895	0,895	0,8949	0,895	0,895	0,6316	0,895	0,895
0,8688	0,611	0,6977	0,8947	0,895	0,895	0,8948	0,895	0,895	0,6128	0,895	0,8948
0,8561	0,596	0,6779	0,894	0,895	0,895	0,8945	0,895	0,895	0,5938	0,895	0,8944
0,839	0,581	0,6571	0,8923	0,895	0,895	0,8938	0,8949	0,895	0,5749	0,895	0,8932
0,8165	0,565	0,6357	0,888	0,895	0,895	0,8922	0,8946	0,895	0,5559	0,895	0,89
0,7881	0,55	0,6139	0,8789	0,895	0,895	0,8888	0,8939	0,895	0,5372	0,895	0,8824
0,7534	0,535	0,5918	0,8604	0,8949	0,895	0,8815	0,8918	0,895	0,5188	0,895	0,8661
0,7124	0,52	0,5695	0,8268	0,8943	0,8949	0,8667	0,8858	0,895	0,5009	0,895	0,8343
0,6657	0,506	0,5471	0,7715	0,8916	0,8944	0,8382	0,8701	0,895	0,4835	0,8946	0,7795
0,6147	0,491	0,525	0,6916	0,8793	0,891	0,7876	0,8328	0,895	0,4666	0,8918	0,6976
0,5612	0,477	0,5031	0,593	0,8283	0,8677	0,7083	0,7573	0,895	0,4503	0,8716	0,5947
0,5074	0,464	0,4816	0,4892	0,6955	0,749	0,6027	0,6368	0,895	0,4347	0,7567	0,4862
0,4557	0,45	0,4607	0,3964	0,4956	0,499	0,4862	0,4913	0,895	0,4197	0,4992	0,3905
0,4079	0,437	0,4406	0,3251	0,3322	0,2995	0,3829	0,3654	0,895	0,4055	0,2951	0,3189
0,3657	0,425	0,4213	0,2769	0,2538	0,2325	0,3088	0,2854	0,895	0,392	0,2303	0,2717
0,3299	0,413	0,4029	0,247	0,2248	0,2155	0,2633	0,2441	0,895	0,3793	0,2147	0,2434
0,3004	0,401	0,3855	0,2298	0,2149	0,2113	0,2379	0,225	0,895	0,3673	0,2111	0,2274
0,277	0,39	0,3691	0,2203	0,2116	0,2103	0,2244	0,2165	0,895	0,356	0,2103	0,2188
0,2588	0,379	0,3539	0,2152	0,2105	0,2101	0,2174	0,2128	0,895	0,3454	0,2101	0,2144
0,2451	0,369	0,3397	0,2125	0,2102	0,21	0,2138	0,2112	0,895	0,3355	0,21	0,2121
0,2349	0,36	0,3267	0,2112	0,2101	0,21	0,2119	0,2105	0,895	0,3262	0,21	0,211
0,2275	0,35	0,3147	0,2106	0,21	0,21	0,211	0,2102	0,895	0,3176	0,21	0,2105
0,2221	0,341	0,3037	0,2103	0,21	0,21	0,2105	0,2101	0,895	0,3096	0,21	0,2102
0,2183	0,333	0,2938	0,2101	0,21	0,21	0,2103	0,21	0,895	0,3022	0,21	0,2101
0,2157	0,325	0,2847	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,895	0,2954	0,21	0,21
0,2139	0,318	0,2766	0,21	0,21	0,21	0,2101	0,21	0,895	0,289	0,21	0,21
0,2126	0,311	0,2693	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2831	0,21	0,21
0,2117	0,304	0,2627	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2776	0,21	0,21
0,2111	0,298	0,2568	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2726	0,21	0,21
0,2108	0,292	0,2516	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2679	0,21	0,21
0,2105	0,286	0,2469	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2636	0,21	0,21
0,2103	0,281	0,2427	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2597	0,21	0,21
0,2102	0,276	0,239	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,256	0,21	0,21
0,2101	0,272	0,2357	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2526	0,21	0,21
0,2101	0,268	0,2328	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2495	0,21	0,21
0,2101	0,264	0,2302	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2466	0,21	0,21
0,21	0,26	0,2279	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2439	0,21	0,21
0,21	0,256	0,2259	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2415	0,21	0,21
0,21	0,253	0,2241	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2392	0,21	0,21
0,21	0,25	0,2224	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2371	0,21	0,21
0,21	0,247	0,221	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2352	0,21	0,21
0,21	0,245	0,2198	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2334	0,21	0,21
0,21	0,242	0,2187	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2317	0,21	0,21
0,21	0,24	0,2177	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2302	0,21	0,21
0,21	0,238	0,2168	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2288	0,21	0,21
0,21	0,236	0,216	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2274	0,21	0,21
0,21	0,234	0,2153	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2262	0,21	0,21
0,21	0,233	0,2147	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2251	0,21	0,21
0,21	0,231	0,2142	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,224	0,21	0,21
0,21	0,23	0,2137	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2231	0,21	0,21
0,21	0,228	0,2133	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2222	0,21	0,21
0,21	0,227	0,2129	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2213	0,21	0,21
0,21	0,226	0,2126	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2205	0,21	0,21
0,21	0,225	0,2123	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2198	0,21	0,21
0,21	0,224	0,212	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2191	0,21	0,21
0,21	0,223	0,2118	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2185	0,21	0,21
0,21	0,222	0,2116	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2179	0,21	0,21
0,21	0,221	0,2114	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2174	0,21	0,21
0,21	0,22	0,2112	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2169	0,21	0,21
0,21	0,22	0,2111	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2164	0,21	0,21
0,21	0,219	0,2109	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,216	0,21	0,21
0,21	0,218	0,2108	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2156	0,21	0,21
0,21	0,218	0,2107	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2152	0,21	0,21
0,21	0,217	0,2106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2149	0,21	0,21
0,21	0,217	0,2106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2145	0,21	0,21
0,21	0,216	0,2105	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2142	0,21	0,21
0,21	0,216	0,2104	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2139	0,21	0,21
0,21	0,216	0,2104	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2137	0,21	0,21
0,21	0,215	0,2103	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2134	0,21	0,21
0,21	0,215	0,2103	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2132	0,21	0,21
0,21	0,215	0,2103	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,213	0,21	0,21
0,21	0,214	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2128	0,21	0,21
0,21	0,214	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2126	0,21	0,21
0,21	0,214	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2124	0,21	0,21
0,21	0,213	0,2102	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2123	0,21	0,21
0,21	0,213	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,2121	0,21	0,21
0,21	0,213	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0,212	0,21	0,21
0,21	0,213	0,2101	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,895	0		

ANEXO E. PORCENTAJE DE ERROR POR DESFASE EN EL TIEMPO.

A partir de los datos que se extrajeron de los artículos presentados en el anexo A se modeló estas curvas de avance para las fracciones en función del tiempo mediante regresiones obteniéndose las siguientes ecuaciones.

Para los parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.

$t * -0,0617 + 3,3261 = x$ con $R^2 = 0,99956$ para valores entre $(t = 37,5 \text{ s}; X = 1)$ y $(t = 50,4 \text{ s}; x = 0,2255)$

$t^2 * 0,00010752 - t * 0,01335754 + 0,62526222 = x$ con $R^2 = 0,9526$ para valores entre $(t = 50,4 \text{ s}; x = 0,2255)$ y $(t = 62,5 \text{ s}; x = 0,21)$

para el artículo 15

$-t^2 * 0,00096 - t * 0,062 - 0,105 = x$ con $R^2 = 1$ para valores entre $(t = 31,25 \text{ s}; x = 0,895)$ y $(t = 43,75 \text{ s}; x = 0,77)$.

$t^2 * 0,0074 - t * 0,7592 + 19,816 = x$ con $R^2 = 1$ para valores entre $(t = 43,75 \text{ s}; x = 0,77)$ y $(t = 51,5 \text{ s}; x = 0,3508)$.

Las ecuaciones mostradas se utilizaron para hallar el tiempo en las fracciones de las simulaciones que contenían el ajuste en la isoterma sin embargo no se halló el tiempo para todas las fracciones sino para las que se evidenciaba el desfase con la curva de avance presentada por el artículo, es decir, cuando las fracciones empezaban a variar.

para este caso solo se disminuyó un 35% ya que se pretendía tratar de modificar lo menos posible la ecuación de equilibrio, esto se realizó observando el desplazamiento de las curvas con el cambio de la constante a disminuir; luego se procedió a escoger una simulación que presentara las mismas propuesta de solución con respecto a difusividades para que simulara las dos

situaciones de parámetros , esto se realizó con respecto a un error porcentual que se obtuvo de la siguiente manera.

Se obtuvieron valores máximos, mínimos y promedios de los errores porcentuales respectivos de las simulaciones, pero con el ajuste en la isoterma, y se escogió una general.

Tabla 16. tiempos calculados partir de las fracciones en las simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.

simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
fraccion inicial = 1	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
	37,70178	37,7018	37,7018	37,701783	37,701783	37,70178	37,701783	37,7034036	37,70178
	37,7034	37,7034	37,7034	37,701783	37,705024	37,70665	37,705024	37,7098865	37,70502
	37,70827	37,7083	37,7066	37,701783	37,719611	37,71799	37,719611	37,7341977	37,71475
	37,71961	37,7196	37,7164	37,701783	37,758509	37,75041	37,768233	37,7974068	37,7342
	37,74068	37,7472	37,7358	37,701783	37,855754	37,82496	37,904376	37,9562399	37,77147
	37,77796	37,8039	37,7731	37,701783	38,082658	37,98379	38,241491	38,3176661	37,83468
	37,83955	37,9125	37,8379	37,703404	38,547812	38,30146	38,970827	39,0664506	37,93679
	37,93679	38,1037	37,9465	37,703404	39,403566	38,87196	40,307942	40,4165316	38,08914
	38,07942	38,4246	38,1183	37,703404	40,764992	39,80065	42,288493	42,4343598	38,30956
	38,28525	38,9287	38,3776	37,705024	42,588331	41,13776	44,627229	44,8071313	38,61264
	38,56726	39,6613	38,7472	37,705024	44,635332	42,81524	46,813614	46,9432739	39,01297
	38,93679	40,6483	39,2512	37,705024	46,551053	44,64019	48,444084	48,4813614	39,52512
	39,40519	41,8703	39,9011	37,706645	48,063209	46,3517	49,453809	49,4294976	40,15721
	39,97407	43,248	40,6969	37,706645	49,098865	47,76013	50,003241	49,9562399	40,91086
	40,64344	44,6694	41,6224	37,708266	49,737439	48,79254	50,924825	50,2333874	41,77796
	41,39708	46,0113	42,6386	37,709887	50,103728	49,4846	54,928742	53,8035081	42,74068
	42,21556	47,1831	43,6953	37,709887	51,604086	49,91896	57,681114	56,5838954	43,76337
	43,07455	48,1361	44,7455	37,711507	54,865226	50,17828	59,829612	58,5925793	44,80551
	43,94327	48,8655	45,7374	37,713128	57,38341	52,3299	61,862721	60,2572058	45,82172
	44,79417	49,4003	46,6402	37,714749	59,148153	55,1227		61,8627212	46,76175
	45,60616	49,7763	47,4279	37,71637	60,809037	57,28817			47,59643
	46,35656	50,034	48,0956	37,71799		59,00026			48,29822
	47,03404	50,2058	48,6451	37,721232		60,25721			48,87034
	47,63371	52,0516	49,0875	37,722853		61,86272			49,31605
	48,15397	54,3165	49,4392	37,726094					49,65316
	48,59806	56,1087	49,7099	37,727715					49,90276
	48,97083	57,6811	49,919	37,730956					50,08428
	49,28363	59,0003	50,0762	37,734198					50,21232
	49,53647	60,0329	50,1945	37,737439					51,64799
	49,7423	61,1906	51,049	37,742301					53,58528
	49,90762		52,8615	37,745543					55,18855
	50,04052		54,3756	37,750405					56,50196
	50,14587		55,7393	37,755267					57,68111
	50,22853		56,9243	37,76013					58,59258
	51,38724		57,8909	37,764992					59,4677
	52,81193		58,8589	37,771475					60,25721
	54,08452		59,6423	37,777958					61,19061
	55,18855		60,2572	37,784441					
	56,18533		61,1906	37,792545					
	57,103			37,800648					
	57,89095			37,808752					
	58,59258			37,816856					
	59,30354			37,82658					
	59,82961			37,837925					
	60,51069			37,84765					
	61,19061			37,858995					
	61,86272			37,871961					
				37,884927					
				37,897893					
				37,91248					
				37,928687					
				37,944895					
				37,962723					
				37,980551					
				38					
				38,02107					
				38,042139					
				38,06483					
				38,089141					

10	11	12	13	14	15	16	17	23	24
37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
37,705024	37,7228525	37,701783	37,706645	37,701783	37,711507	37,920583	37,705024	37,701783	39,414911
37,881686	37,7633712	37,708266	37,732577	37,708266	38,860616	38,235008	37,748784	37,722853	48,93517
38,038898	37,815235	37,722853	37,773096	37,721232	39,789303	38,398703	38,037277	37,920583	50,526742
38,171799	37,8930308	37,752026	37,836305	37,750405	40,076175	38,611021	39,28201	39,042139	
38,332253	38,0113452	37,80389	37,933549	37,807131	40,367909	38,884927	42,473258	42,359806	
38,538088	38,1555916	37,89141	38,069692	37,91248	40,737439	39,220421	46,63047	46,786062	
38,78282	38,3517018	38,02269	38,254457	38,082658	41,004862	39,611021	49,277147	49,432739	
39,074554	38,6077796	38,213938	38,495948	38,354943	41,353323	40,063209	50,207455	50,680407	
39,410049	38,9141005	38,479741	38,799028	38,756888	41,713128	40,570502	56,583895	57,480566	
39,792545	39,2917342	38,831442	39,170178	39,320908	42,077796	41,128039	60,510687	61,19061	
40,21718	39,7309562	39,280389	39,611021	40,071313	42,463533	41,732577			
40,683955	40,2366288	39,833063	40,121556	41,016207	42,849271	42,377634			
41,191248	40,8055105	40,491086	40,700162	42,137763	43,235008	43,048622			
41,730956	41,4343598	41,247974	41,340357	43,387358	43,623987	43,737439			
42,298217	42,1118314	42,089141	42,030794	44,685575	44,012966	44,431118			
42,886548	42,8298217	42,991896	42,76013	45,943274	44,397083	45,113452			
43,487844	43,575024	43,925446	43,512156	47,076175	44,776337	45,773096			
44,094003	44,3209076	44,858995	44,269044	48,029173	45,147488	46,397083			
44,6953	45,0615883	45,756888	45,014587	48,777958	45,505673	46,975689			
45,28363	45,7763371	46,589951	45,730956	49,337115	45,860616	47,502431			
45,849271	46,4505673	47,338736	46,403566	49,734198	46,191248	47,970827			
46,385737	47,0696921	47,988655	47,02269	50,006483	46,513776	48,382496			
46,888169	47,6288493	48,536467	47,580227	50,188006	46,820097	48,737439			
47,351702	48,1264182	48,987034	48,074554	51,736347	47,111831	49,040519			
47,774716	48,554295	49,350081	48,504052	54,084517	47,385737	49,296596			
48,153971	48,9205835	49,635332	48,871961	55,958357	47,641815	49,508914			
48,492707	49,2269044	49,855754	49,181524	57,579756	47,883306	49,685575			
48,789303	49,4813614	50,024311	49,439222	58,858862	48,106969	49,831442			
49,048622	49,6888169	50,15235	49,65154	59,829612	48,316045	49,952998			
49,273906	49,8573744	50,247974	49,82658	60,809037	48,508914	50,050243			
49,466775	49,993517	52,051645	49,967585		48,687196	50,13128			
49,632091	50,102107	53,63932	50,081037		48,850891	50,197731			
49,773096	50,1880065	55,057466	50,170178		49	50,251216			
49,89141	50,2560778	56,262908	50,243112		49,137763	51,473454			
49,991896	51,8254561	57,288169	51,560364		49,262561	52,519834			
50,076175	53,1133836	58,226319	52,861494		49,377634	53,42517			
50,145867	54,1996768	59,000255	54,027544		49,481361	54,257882			
50,205835	55,1885463	59,829612	55,057466		49,576985	55,057466			
50,254457	56,1087348	60,510687	55,958357		49,662885	55,739332			
51,473454	56,9243083	61,19061	56,837186		49,740681	56,42118			
52,424405	57,6811141	61,862721	57,579756		49,811994	57,012889			
53,320027	58,3445563		58,226319		49,875203	57,579756			
54,141891	58,8588624		58,858862		49,933549	57,999774			
54,928742	59,4676992		59,467699		49,985413	58,466518			
55,597339	60,0329273		60,032927		50,034036	59,000255			
56,262908	60,5106866		60,510687		50,077796	59,303544			
56,837186	60,8090371		60,809037		50,116694	59,642293			
57,38341	61,8627212		61,862721		50,15235	60,032927			
57,890946					50,183144	60,510687			
58,344556					50,212318	60,809037			
58,723184					50,23987	61,19061			
59,148153					50,600076	61,862721			
59,467699					51,132622				
59,829612					51,64799				
60,257206					52,143542				
60,510687					52,616211				
61,19061					53,062451				
61,19061					53,478215				
61,862721					53,91477				

Tabla 17. Tiempos calculados partir de las fracciones en las simulaciones con el ajuste en la isoterma, parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
fraccion inicial = 0,8595	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25
	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877
	33,4289453	33,4289453	33,5171201	33,4289453	33,5171201	33,4738551	33,4738551	33,4289453	33,4289453	33,4289453	33,4289453
	33,5993629	33,5993629	33,75	33,6767308	33,8534721	33,75	33,5993629	33,5589089	33,5589089	33,5589089	33,5171201
	33,918802	33,8534721	34,1292564	34,1573844	34,4426516	34,2921006	33,8197601	33,7138373	33,75	33,8197601	33,6386025
	34,4905458	34,2393326	34,7372551	35	35,3943649	35,1859258	34,1573844	33,9816083	34,0121519	34,1850946	33,8864716
	35,3606083	34,8415169	35,5738259	36,3152516	36,8034183	36,5541076	34,605949	34,2921006	34,3687406	34,7372551	34,2124051
	36,5784762	35,6366982	36,6864631	38,1672577	38,7095508	38,4359108	35,2216956	34,6942839	34,8210084	35,4771917	34,6283458
	38,1495021	36,6388001	38,0689269	40,598395	41,1211666	40,8698407	35,9633016	35,1678741	35,3606083	36,4175083	35,1497084
	40,1273268	37,8763991	39,7527928	43,5528494	43,7523504	43,7121584	36,8835148	35,728851	36,0196111	37,5793949	35,7889374
	42,4591017	39,3436808	41,7036308	44,4233939	44,499503	44,463814	37,9505154	36,3667007	36,7686526	38,9719912	36,5418709
	43,9833523	41,0203112	43,7299952	45,4935933	45,5309685	45,5145871	39,1792814	37,0724514	37,6186486	40,5795636	37,3888132
	44,7002663	42,8855754	44,2496405	46,8867134	46,8516183	46,8683682	40,5606893	37,8577158	38,5700743	42,397444	38,3333333
	45,6302511	43,941898	44,9189762	48,680975	48,5206073	48,5945946	42,088651	38,6932995	39,6047305	43,8333836	39,387856
	46,7732765	44,450972	45,7410243				43,7409055	39,6047305	40,7290381	44,3257911	40,5291361
	48,1617545	45,077733	46,7109772				44,0800689	40,5669856	41,9332469	44,9529654	41,7588065
	50,2475834	45,8194049	47,8438608				44,5493842	41,5810909	43,2004584	45,7203896	43,0562724
		46,6728316	49,2753216				45,119153	42,6418713	43,8633171	46,633549	43,8388171
		47,647898					45,7972475	43,7318037	44,1743039	47,7132852	44,1553575
		48,8134562					46,5859818	43,9363884	44,5393785	49,0656437	44,5263932
		50,9023881					47,5008898	44,2056763	44,9614911		44,9540304
							48,5970958	44,511441	45,441438		45,4402842
							50,2347879	44,8536323	45,9834442		45,9872602
								45,2373038	46,5874162		46,593158
								45,6601371	47,2594016		47,2661005
								46,1238979	48,0184945		48,0205559
								46,6292047	48,9162331		48,9105644
								47,1815061	50,2221446		50,2034537
								47,7895057			
								48,4723588			
								49,295472			
								50,6341706			

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25
33,3821877	33,8197601	33,8197601	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	33,3821877	34,0716674	33,5171201	33,4289453	34,265893
33,4289453	37,3990211	35,019163	33,4738551	33,6386025	33,5993629	33,4289453	33,5171201	36,7453247	34,3936664	33,5993629	41,3310289
33,5589089	40,1604914	35,728851	33,75	34,4426516	34,5833333	33,5589089	33,7852874	39,0495068	37,3374639	34,0121519	
33,7852874	41,0441465	36,2631361	34,265893	36,4676978	37,7251342	33,8197601	34,3936664	40,0471531	43,8252408	34,8003322	
34,1006911	41,7091629	36,7686526	35,1859258	40,6919188	43,895197	34,2921006	35,5579188	40,7536938	46,7109772	36,0612912	
34,5141059	42,2520918	37,3064019	36,5172912	44,4008229	46,7139247	35,0381922	37,4899904	41,3941884		37,8763991	
35,094505	42,8165215	37,9043074	38,3848379	46,7643242		36,1836545	40,4081152	41,9817425		40,3112824	
35,7889374	43,3804028	38,4274282	40,7844128			37,8201598	43,8198171	42,6166801		43,3097232	
36,6268025	43,7389293	39,0725886	43,6816141			40,0538658	45,0021463	43,2576019		44,380279	
37,6186486	43,8506034	39,7178076	44,4391393			42,9199341	46,8288788	43,7317812		45,4715152	
38,7419304	43,9695081	40,3242609	45,4912653			44,2765361	49,5787949	43,8614995		46,9066738	
40	44,0922498	41,0262761	46,8607468			45,3794583		44,0046311		48,7783407	
41,3941884	44,2209372	41,7036308	48,624763			46,9066738		44,1563036			
42,8954036	44,3559012	42,3768077				48,9911934		44,3170737			
43,8551415	44,4975154	43,0949101						44,4865937			
44,2371881	44,6441731	43,717505						44,6665534			
44,6992422	44,7951765	43,8614995						44,8578281			
45,2439974	44,9529654	44,0213275						45,0582089			
45,8739487	45,1169661	44,1952034						45,2652427			
46,5917219	45,2876873	44,3793022						45,4819628			
47,4042325	45,4610863	44,5754687						45,7058698			
48,3483155	45,6362157	44,7879064						45,9403865			
49,5670398	45,8218724	45,013964						46,1816872			
	46,0166077	45,2529337						46,4307811			
	46,2121566	45,5052471						46,6860002			
	46,412765	45,7715094						46,9484227			
	46,6176396	46,0525566						47,2194393			
	46,8288788	46,3454473						47,4991104			
	47,045842	46,6538763						47,78758			
	47,2694541	46,9780435						48,0893247			
	47,4991104	47,3183993						48,4038272			
	47,7359801	47,6757765						48,7384215			
	47,9816087	48,0558						49,0992006			
	48,2381053	48,4651924						49,505648			
	48,5060452	48,9162331						50			
	48,7890931	49,4390049						50,7967498			
	49,0961289	50,1144209									
	49,4353725										
	49,8289808										
	50,35619										

Tabla 18. Error para la simulación 5 con ajuste en la isoterma con los parámetros *propuestos* por Choung et al¹⁹. con 1001 nodos en el tiempo y 151 nodos en el espacio.

promedio del error porcentual	7,86
numero de datos	129,00
maximo	16,83
minimo	0,02

Tabla 19. Error para la simulación 6 con ajuste en los parámetros *propuestos* por Beeyani et al²⁰. con 1001 nodos en el tiempo y 151 nodos en el espacio.

promedio del error porcentual	21,89
numero de datos	43,00
maximo	43,87
minimo	2,04

Tabla 20. Errores porcentuales basados en el tiempo, parámetros propuestos por Choung et al¹⁹.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
64	48	60	42,4	32	36	28	28	84
60,214083	44,299716	56,235491	42,3104204	28,385349	32,363941	24,406758	24,4100073	78,780844
56,237373	40,32369	52,258952	41,9125613	24,413257	28,394584	20,435007	20,4452658	73,478336
52,265108	36,353477	48,284977	41,5147021	20,465776	24,43924	16,489065	16,521347	68,182209
48,302754	32,395909	44,321258	41,1168429	16,575096	20,530654	12,624984	12,6924231	62,898376
44,357124	28,471447	40,374952	40,7189838	12,82699	16,721656	8,9814854	9,10585422	57,639991
40,44146	24,610932	36,462713	40,3211246	9,4075839	13,12084	5,8614113	6,04855765	52,424606
36,574292	20,870383	32,607299	39,9258479	6,6094854	9,9251016	3,7741734	4,00970793	47,280728
32,782928	17,330923	28,847222	39,5280058	4,8309477	7,3882588	3,2448733	3,50483218	42,240756
29,095552	14,117597	25,232791	39,1301638	4,3296756	5,7804292	4,2292657	4,55847529	37,352456
25,558801	11,37641	21,829469	38,7349553	4,9035278	5,196596	5,8870528	6,26492078	32,66454
22,213817	9,231335	18,703727	38,3371303	5,9041394	5,4075027	7,0783133	7,33496755	28,228989
19,09965	7,7452153	15,926171	37,9393054	6,5542093	5,9143884	7,1094011	7,18082439	24,098905
16,254679	6,855307	13,536293	37,5441651	6,3732929	6,152313	5,972864	5,92661814	20,313194
13,694048	6,3539949	11,541219	37,1463572	5,2931274	5,7791503	4,0062233	3,91590695	16,892481
11,424812	5,9758354	9,9042093	36,7512679	3,4932221	4,6985551	2,7978981	1,45995999	13,830159
9,4139065	5,4581	8,5335259	36,3562127	1,2049557	3,000131	7,1524346	5,21064175	11,09173
7,617	4,626958	7,3126855	35,958439	1,1706175	0,8392857	8,9823406	7,21741642	8,599363
5,9769726	3,3989899	6,1359026	35,5634348	4,3109739	1,6375969	9,7436905	7,83815861	6,2615301
4,4222329	1,7711443	4,8919206	35,1684645	5,8961473	0,3250575	10,285227	7,89483308	3,975665
2,8891381	0,2017717	3,5166974	34,7735281	6,1678219	2,0367352		7,86050326	1,6290032
1,3291162	2,4583225	1,9563954	34,3786258	6,2639327	3,1213579			0,8478905
0,3094189	4,9285737	0,1988206	33,9837573		3,3902488			3,5234899
2,053756	7,5572199	1,7575132	33,5917762		2,9161754			6,4040062
3,9179993	6,6248731	3,896061	33,1969925		3,0110561			9,4978309
5,9102689	4,9404584	6,1909913	32,8051295					12,782348
8,0290145	4,2618413	8,6303022	32,4104304					16,226047
10,269734	4,0201822	11,180195	32,0186856					19,798071
12,613457	4,2368368	13,826585	31,627008					23,475679
15,066745	4,9424088	16,546658	31,2353977					23,915762
17,606139	5,4083301	17,534043	30,8468244					23,168144
20,222128		16,341773	30,4553652					23,213972
22,900405		15,860818	30,0669758					23,889511
25,633484		15,717211	29,6786864					24,824219
28,413088		15,943438	29,290497					26,295857
28,436553		16,598544	28,9024076					27,800472
27,81204		17,229585	28,5174855					29,445099
27,578102		18,204711	28,1326955					30,739014
27,743897		19,487784	27,7480376					
28,147332		20,116469	27,3666266					
28,714773			26,9853792					
29,553938			26,6042953					
30,562609			26,2233746					
31,526709			25,8457946					
32,877344			25,4716011					
33,860653			25,0944245					
34,824608			24,7206644					
35,784522			24,3503659					
			23,9803209					
			23,610529					
			23,2442715					
			22,8815913					
			22,5192209					
			22,1604833					
			21,8020824					
			21,4473684					
			21,0963809					
			20,7457822					
			20,3989611					
			20,0559551					
			19,7133866					
			19,3746813					
			19,0398743					
			18,7089999					
			18,3820911					
			18,0591799					
			17,7368154					
			17,4219807					
			17,1077313					
			16,8010889					
			16,495067					
			16,1967234					
			15,8990324					

10	11	12	13	14	15	16	17	23	24
94,6666667	89,3333333	84	89,3333333	68	94,666667	93,6	23,2	23,2	87,2
89,3913343	84,094522	78,780844	84,087685	62,86648	89,39316	87,341967	17,25241	17,24529	81,732802
84,1612117	78,815451	73,480615	78,798162	57,56898	84,5602	81,16909	10,99051	10,92932	80,382208
78,9688965	73,555632	68,189044	73,526131	52,28152	79,89409	74,999156	5,356002	5,064752	76,2502
73,8026495	68,331908	62,915897	68,284429	47,02044	75,04752	68,920791	2,245327	1,644734	
68,6947698	63,168891	57,676313	63,093356	41,80992	70,27342	62,967656	3,939556	3,682277	
63,6723021	58,066434	52,49583	57,971817	36,69631	65,63358	57,165172	7,356713	7,664808	
58,7446195	53,065968	47,399829	52,946659	31,72745	60,98024	51,528642	7,462176	7,753443	
53,9342154	48,196969	42,429383	48,04648	26,99768	56,47266	46,085198	4,396669	5,288842	
49,2515216	43,465223	37,629517	43,297548	22,5944	52,05346	40,84372	10,92872	12,31819	
44,7132616	38,918451	33,04395	38,728898	18,61836	47,71589	35,810214	12,74269	13,71225	
40,3240106	34,559843	28,71761	34,361702	15,15127	43,48092	30,989165			
36,0927416	30,411665	24,685682	30,212078	12,22982	39,32219	26,376257			
32,024395	26,480518	20,97026	26,29022	9,819608	35,23767	21,948722			
28,1109212	22,769411	17,571709	22,593798	7,807247	31,23049	17,690654			
24,3466932	19,262595	14,467249	19,106929	6,009938	27,29415	13,574086			
20,7210612	15,946416	11,611249	15,809423	4,229724	23,41839	9,5613436			
17,2182469	12,785031	8,9366098	12,668082	2,286029	19,60039	5,6214149			
13,8204808	9,7491406	6,3732929	9,6434063	0,060741	15,83142	1,7179586			
10,5051311	6,7942308	3,8396146	6,6969108	2,505316	12,09887	2,1805134			
7,25125268	3,8804702	1,2662631	3,7850865	5,397326	8,418151	6,0998328			
4,03336986	0,969993	1,3968776	0,8696867	8,577201	4,74386	10,066896			
0,8315863	1,9764479	4,1912932	2,0783787	11,98548	1,104568	14,090848			
2,37124093	4,9783918	7,1359402	5,0856695	15,56546	2,520078	18,184297			
5,59282585	8,0487641	10,233251	8,1653294	15,97263	6,130453	22,347809			
8,8441836	11,215702	13,474991	11,330905	14,6354	9,737661	26,580747			
12,1402847	14,471243	16,852245	14,58513	14,37076	13,34581	30,885521			
15,4812834	17,82175	20,347193	17,930466	14,62362	16,95099	35,250522			
18,8785171	21,257779	23,939738	21,361133	15,53061	20,56465	39,670851			
22,3275948	24,776567	27,611169	24,870246	16,99892	24,18235	44,135492			
25,8272482	28,366166	31,348579	28,4455	18,40345	27,81156	48,650627			
29,3797713	32,017117	30,639484	32,085631		31,4514	53,197763			
32,9784802	35,722835	30,501282	35,779935		35,10501	57,776056			
36,6199935	39,475554	30,772455	39,525117		38,77551	62,384132			
40,3047136	43,266254	31,525374	43,303226		42,45663	63,190915			
44,0233425	42,786973	32,662645	43,521096		46,15562	64,509279			
47,7748649	43,090112	33,96004	43,771947		49,86542	66,213791			
51,5578539	43,912297	35,592633	44,370806		53,59319	68,086179			
55,3604287	44,957614	37,055877	45,302728		57,33107	70,004191			
59,1898604	46,144803	38,818455	46,53754		61,08609	72,230267			
59,3054173	47,564375	40,54444	47,790568		64,855	74,402592			
60,230716	49,095594	42,250451	49,358048		68,63409	76,802128			
61,2902405	50,828125		51,134404		72,43038	79,229658			
62,5358805	52,908154		52,908154		76,23422	82,069677			
63,8486447	54,705834		54,705834		80,05253	84,721109			
65,4755463	56,580737		56,580737		83,87483	87,117834			
67,0727721	58,649662		58,649662		87,70794	90,207856			
68,9035065	61,160256		61,160256		91,55294	93,151528			
70,781066	61,64824		61,64824		95,4046	95,892496			
72,7385839					99,2701	98,312078			
74,823508					103,1374	101,28587			
77,1021129					107,0069	103,95286			
79,2110068					109,4858	105,61656			
81,6111964					111,2155				
83,8554452					112,9802				
85,8698864					114,7917				
88,396474					116,6633				
89,5715705					118,6103				
92,8400458					120,6506				
93,9778879					122,5735				
					124,6094				
					126,7827				
					128,8518				
					131,0891				
					133,5275				
					135,5751				
					137,8353				
					140,3511				
					142,7988				
					145,171				
					147,4583				
					149,6484				
					152,1983				
					154,6829				
					157,0934				
					159,9779				
					162,2474				
					165,0408				
					167,1258				
					169,7984				
					172,4168				
					174,9727				
					177,4546				
					179,8464				
					182,1239				
					185,443				
					187,5525				
					189,4307				
					192,7196				
					194,1628				
					197,4313				
					200,6997				
					200,6657				
					203,8987				

Tabla 21. Errores porcentuales basados en el tiempo, parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7,84	23,2	12,96	2,4	2,4	2,4	33,44	69,28	53,92	23,2	53,92
8,93346991	23,3123957	13,7264452	0,65248062	0,65248062	0,65248062	32,8983463	66,4491731	52,0702473	23,3123957	52,0702473
4,274575	18,6333887	9,30008333	5,29796751	5,02095615	5,15669592	28,3022528	61,70983	47,3510162	18,6333887	47,3510162
0,00189616	14,284089	5,18518519	9,27426468	8,70376878	9,03703704	23,8080791	57,0903808	42,7871744	14,1807616	42,7158421
3,7772501	10,2012345	1,55074115	12,4207858	11,4896741	11,9791418	19,5736459	52,5417417	38,3703704	10,1117218	38,1662778
6,69590505	6,54023451	1,33212858	14,2857143	13,0123401	13,6818175	15,6844106	48,2072778	34,1411856	6,39195138	33,8969242
8,59541688	3,56332614	3,44684339	14,5524211	13,0329788	13,8038998	12,1538323	44,0104291	30,1691026	3,27387727	29,8500064
9,35392651	1,22541718	4,67076056	13,1860203	11,6003652	12,3948908	9,14690655	40,047761	26,4811641	0,78132355	26,0721256
9,04467345	0,43997035	5,07257028	10,3491898	8,94632541	9,61628245	6,57142547	36,3055045	23,0782464	1,0502961	22,6167123
7,65730853	1,38239361	4,64673573	6,53723157	6,05144538	6,14895641	4,56440994	32,8273949	20,0435564	2,18365714	19,528206
5,5133014	1,66816939	3,58810285	8,05117705	7,86637325	7,95295245	3,03162006	29,6059322	17,3208756	2,63781436	16,8077626
5,49445995	1,41317494	2,44684413	9,02634068	8,93684373	8,97605173	1,98901391	26,6301554	14,9358065	2,51465584	14,4129025
7,38191063	0,73317094	4,85960904	9,19937935	9,28117707	9,242122	1,38234669	23,9256796	12,8858303	1,8929348	12,3478261
8,69981824	1,95281056	6,85906956	8,46126236	8,81974264	8,65406007	1,16100428	21,4334254	11,1217283	2,20520593	10,6323532
9,46421508	4,38466892	8,4365747				1,23661245	19,2015712	9,64677353	4,67946288	9,20112409
9,63055769	6,48272845	9,61020946				1,63323496	17,1740282	8,42588438	6,77827286	8,04334883
8,26391297	8,25107846	10,3589867				4,15407725	15,3461364	7,40838981	8,48551469	7,09832089
	9,69979374	10,4000912				6,38497576	13,6998474	5,15993149	9,79220123	5,10692872
	10,8128632					8,3034521	12,1920508	2,2055898	10,661003	2,16362751
	11,44468					9,90430604	8,95928981	0,58514854	10,8718766	0,61448231
	10,0144847					11,1558125	5,89443826	3,19942428		3,21655153
						11,9408458	2,94630102	5,63046008		5,63314204
						11,4765332	0,11957189	7,86490838		7,85595786
							2,57021544	9,90092221		9,88737867
							5,12452005	11,7238015		11,7079672
							7,5364448	13,2896826		13,2848194
							9,80243029	14,4814236		14,4946918
							11,9082546	14,6904427		14,7331423
							13,8325229			
							15,5297605			
							16,8464317			
							16,9170924			

ANEXO F. CÓDIGO USADO LOS PARÁMETROS PROPUESTOS POR CHOUNG ET AL¹⁹. Y PARÁMETROS PROPUESTOS POR BEEYANI ET AL²⁰.

Código presentado con planteamiento para parámetros del parámetros propuestos por Choung et al¹⁹. en los recuadros se encuentra los parámetros para los parámetros propuestos por Beeyani et al²⁰.

Rutina principal

```
clc
clear all
format short
global Mg1 Mg2 adsorptionORpurge dYbardZbarDifferentialMethod T0 ncall n
dzbar dtbar miu epsilon epsilonbar k1 k2 kk1 kk2 kk3 kk4 rhob R dp L tfeed
y1feed y2feed Qin Qfeed P0 Pout Tfeed Pmax Pmin Tmax Tmin Tref Q0 kg
MassAxial HeatAxial HeateqmORnoneqm Dem4 Dem1

FE = +1;
dYbardZbarDifferentialMethod = 777;
choose = 1;
nout = 101;
n = 51;

zbarl = 0.0;
zbaru = 1.0;
dzbar = (zbaru-zbarl)/(n-1);
zbar = linspace(zbarl,zbaru,n);

tbarl = 0.0;
tbaru = 1.0;
dtbar = (tbaru-tbarl)/(nout-1);
tbar = linspace(tbarl,tbaru,nout);
```

```
tbarv = tbar';
```

```
R = 8.314472*10^4;
```

```
miu = 18.2385e-5;
```

```
Mg1 = 0.032;
```

```
Mg2 = 0.028;
```

```
L = 70;
```

```
D = 10;
```

```
A = pi*(D/2)^2;
```

```
rhob = 0.721 ;
```

```
dp = 0.158;
```

```
epsilon = 0.7138;
```

```
epsilonop = 0.55;
```

```
epsilonbar = 0.364;
```

```
taup = 3;
```

```
Dek1 = 0.002107729;
```

```
Dek2 = 0.002408833;
```

```
Dem1 = 0.022938359;
```

```
Dem4 = 0.011561231;
```

```
if adsorptionORpurge == 111
```

```
De1 = (1/(1/Dek1 + 1/Dem4));
```

```
De2 = (1/(1/Dek2 + 1/Dem4));
```

```
end
```

```
k1 = 15*De1/(dp/2)^2
```

```
k2 = 15*De2/(dp/2)^2
```

```
y1feed = 0.21;
```

```
y2feed = 0.79;
```

Parametros propuestos por
Beeyani et al²⁰.

```
L = 35;  
D = 3.5;  
A = pi*(D/2)^2;  
rhob = 0.66;  
dp = 0.0707;  
epsilon = 0.598;  
epsilonop = 0.33;  
epsilonbar = 0.4;
```

```

Tfeed = 298;
tfeed = 180;
qfeed = 38.16;
Pout = 1.984075895*1013250;
Qfeed = qfeed/A;
Qin = FE * Qfeed;

y10 = 1.0;
y20 = 0.0;
P0 = 1.984075895*1013250;
T0 = 298;
Q0 = FE *29.3/A;
rhog0 = P0/(R*T0);
us0 = Q0/rhog0;

```

Parámetros a cambiar de los propuestos por Beeyani et al²⁰.

```

if adsorptionORpurge == 111
Tfeed = 298;
tfeed = 50;
qfeed = 1.64;
Pout = 1.9*1013250;
y10 = 0.895;
y20 = 1-y10;
P0 = 1.9*1013250;
Q0 = FE * 0;

```

```

kk1 = 0.15244;
kk2 = 0.053359978;
kk3 = 0.145389;
kk4 = 0.312255454*0.65;

```

```

n1eqm0 = kk1*(y10) *(P0/1013250)/(1 + kk2*(y10)*(P0/1013250) + kk3*(1-
y10)*(P0/1013250));
n2eqm0 = kk4*(1-y10)*(P0/1013250)/(1 + kk2*(y10)*(P0/1013250) + kk3*(1-
y10)*(P0/1013250));
n10 = n1eqm0;
n20 = n2eqm0;

```

```

Mg0 = Mg1*y10 + Mg2*(1-y10);
Pmax = Pout;
Pmin = 0;
Tref = T0;

```

```
Tmax = Tfeed;
```

```
Tmin = 273;
```

```
for i=1:n
```

```
Y0(0*n+i) = y10*rhog0*L/(Qfeed*tfeed);
```

```
Y0(1*n+i) = (k1*rhob*L/Qfeed)*n10;
```

```
Y0(2*n+i) = (k2*rhob*L/Qfeed)*n20;
```

```
Y0(3*n+i) = y20*rhog0*L/(Qfeed*tfeed);
```

```
end
```

```
ncall = 0;
```

```
reitol = 1.0e-04;
```

```
abstol = 1.0e-04;
```

```
options = odeset('RelTol',reitol,'AbsTol',abstol);
```

```
[t,Y] = ode15s(@psa_1_sequence_model_D, tbar, Y0, options);
```

```
for it = 1:nout
```

```
for i = 1:n
```

```
Y1bar(it,i) = Y(it,0*n+i);
```

```
n1bar(it,i) = Y(it,1*n+i);
```

```
n2bar(it,i) = Y(it,2*n+i);
```

```
Y2bar(it,i) = Y(it,3*n+i);
```

```
end
```

```
end
```

```
for it = 1:nout
```

```
for i = 1:n
```

```
y1bar(it,i) = Y1bar(it,i)/(Y1bar(it,i)+Y2bar(it,i));
```

```
y2bar(it,i) = Y2bar(it,i)/(Y1bar(it,i)+Y2bar(it,i));
```

```
rhogbar(it,i) = Y1bar(it,i) + Y2bar(it,i);
```

```
Mg(it,i) = Mg1*y1bar(it,i) + Mg2*(1-y1bar(it,i));
```

```
end
```

```

end

for it = 2:nout
if adsorptionORpurge == 111
i = 1;
end
y1bar(it,i) = y1feed;
y2bar(it,i) = y2feed;
Y1bar(it,i) = y1feed*rhogbar(it,i);
Y2bar(it,i) = y2feed*rhogbar(it,i);
end

for it = 1:nout
for i=1:n
thetabar(it,i) = (T0-Tref)/(Tmax-Tmin);
end
end

for it = 1
for i=1:n
Pbar(it,i) = P0/(Pmax-Pmin);
end
end

for it = 2:nout
i = n;
Pbar(it,i) = Pout/(Pmax-Pmin);
for i = n-1:-1:2
Pbar(it,i) = rhogbar(it,i)*(thetabar(it,i)*(Tmax-Tmin)+.....
Tref)*(R*Qfeed*tfeed)/((Pmax-Pmin)*L);
dPbardzbar(it,i) = (Pbar(it,i+1)-Pbar(it,i))/dzbar;
end

```

```

for i = 1
Pbar(it,i) = Pbar(it,i+1) - dPbardzbar(it,i+1)*dzbar;
rhogbar(it,i) = Pbar(it,i)*(Pmax-Pmin)*L/((.....
thetabar(it,i)*(Tmax-Tmin)+Tref)*R*Qfeed*tfeed);
dPbardzbar(it,i) = (Pbar(it,i+1)-Pbar(it,i))/dzbar;
Y1bar(it,i) = y1feed*rhogbar(it,i);

Y2bar(it,i) = y2feed*rhogbar(it,i);
end
for i = n
dPbardzbar(it,i) = (Pbar(it,i)-Pbar(it,i-1))/dzbar;
end
end

for it = 1
for i = 1:n
Qbar(it,i) = Q0/Qfeed;
end
end

for it = 2:nout
Qbar(it,1) = Qin/Qfeed;
for i = 2:n
a = 1.75*Mg(it,i)*L*(1-epsilonbar)/(dp*rhogbar(it,i)*.....
epsilonbar^2);
b = 150*miu*L*(1-epsilonbar)^2/((dp^2)*Qfeed*rhogbar(it,i)*....
epsilonbar^2);
c = epsilonbar*tfeed*(Pmax-Pmin)*dPbardzbar(it,i)/(Qfeed*L);
solQbar1 = (-b + sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);
solQbar2 = (-b - sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);
Qbar(it,i) = max(solQbar1,solQbar2);
end

```

end

for it = 1

for i=1:n

usbar(it,i) = Q0/Qfeed/rhogbar(it,i);

end

end

for it = 2:nout

i = 1;

usbar(it,i) = Qin/Qfeed/rhogbar(it,i);

for i = 2:n

usbar(it,i) = Qbar(it,i)/rhogbar(it,i);

end

end

AccQ = 0;

for i = 1:n

AccQ = AccQ + Qfeed*abs(Qbar(nout,i));

end

AveQ_nout_mmolecm2sec = AccQ/n

AveQ_nout_lbmoleft2hr = AveQ_nout_mmolecm2sec*3600*929.0304/454000

DM = Dem4;

for i = 1:n

DL(nout,i) = 0.7*DM +

0.5*dp*(abs(Qbar(nout,i))*Qfeed)/(rhogbar(nout,i)*(Qfeed*tfeed/L)*epsilonbar);

end

```

AccDL = 0;
for i = 1:n
AccDL = AccDL + DL(nout,i);
end
AveDL_nout_cm2sec = AccDL/n

AccReynolds = 0;
for i=1:n
Reynolds(i) = (Qfeed*abs(Qbar(nout,i))*dp*Mg(nout,i))/miu;
AccReynolds = AccReynolds + Reynolds(i);
end
AveReynolds_nout = AccReynolds/n
if adsorptionORpurge == 111
Pressuredropacrossbed_psi = ((Pmax-Pmin).*Pbar(nout,1) - Pout)*14.69595/...
1013250;
end

z0 = 0.0;
zend = L;
z = linspace(z0,zend,n);
t0 = 0.0;
tend = tfeed;
t = linspace(t0,tend,nout);

```

Rutina MOL

```
function yt=psa_1_sequence_model_D(t,Y)
```

```
global Mg1 Mg2 adsorptionORpurge dYbardZbarDifferentialMethod T0 ncall n
dzbar dtbar miu epsilon epsilonbar k1 k2 kk1 kk2 kk3 kk4 rhob R dp L tfeed
```

y1feed y2feed Qin Qfeed P0 Pout Tfeed Pmax Pmin Tmax Tmin Tref Q0
MassAxial Dem4

```
for i = 1:n
```

```
Y1bar(i) = Y(0*n+i);
```

```
n1bar(i) = Y(1*n+i);
```

```
n2bar(i) = Y(2*n+i);
```

```
Y2bar(i) = Y(3*n+i);
```

```
End
```

```
for i = 1:n
```

```
y1bar(i) = Y1bar(i)/(Y1bar(i)+Y2bar(i));
```

```
y2bar(i) = Y2bar(i)/(Y1bar(i)+Y2bar(i));
```

```
rhogbar(i) = Y1bar(i) + Y2bar(i);
```

```
Mg(i) = Mg1*y1bar(i) + Mg2*(1-y1bar(i));
```

```
End
```

```
if (ncall~=0)
```

```
if adsorptionORpurge == 111
```

```
i = 1;
```

```
end
```

```
y1bar(i) = y1feed;
```

```
y2bar(i) = y2feed;
```

```
Y1bar(i) = y1feed*rhogbar(i);
```

```
Y2bar(i) = y2feed*rhogbar(i);
```

```
end
```

```
for i = 1:n
```

```
thetabar(i) = (T0-Tref)/(Tmax-Tmin);
```

```
end
```

```

if (ncall==0)
for i = 1:n
Pbar(i) = P0/(Pmax-Pmin);
end
end
if (ncall~=0)

if adsorptionORpurge == 111
i = n;
Pbar(i) = Pout/(Pmax-Pmin);
for i = n-1:-1:2
Pbar(i) = rhogbar(i)*(thetabar(i)*(Tmax-Tmin)+Tref)*(R*Qfeed*tfeed)/((Pmax-
Pmin)*L);
dPbardzbar(i) = (Pbar(i+1)-Pbar(i))/dzbar;
end

for i = 1
Pbar(i) = Pbar(i+1) - dPbardzbar(i+1)*dzbar;
rhogbar(i) = Pbar(i)*(Pmax-Pmin)*L/((thetabar(i)*(Tmax-
Tmin)+Tref)*R*Qfeed*tfeed);
dPbardzbar(i) = (Pbar(i+1)-Pbar(i))/dzbar;
Y1bar(i) = y1feed*rhogbar(i);
Y2bar(i) = y2feed*rhogbar(i);
Thetabarg(i) = ((Tfeed-Tref)/(Tmax-Tmin))*rhogbar(i);
end
for i = n
dPbardzbar(i) = (Pbar(i)-Pbar(i-1))/dzbar;
end
end
end

if (ncall==0)

```

```

for i = 1:n
Qbar(i) = Q0/Qfeed;
end
end
if (ncall~=0)
if adsorptionORpurge == 111
Qbar(1) = Qin/Qfeed;
for i = 2:n
a = 1.75*Mg(i)*L*(1-epsilonbar)/(dp*rhogbar(i)*epsilonbar^2);
b = 150*miu*L*(1-epsilonbar)^2/((dp^2)*Qfeed*rhogbar(i)*epsilonbar^2);
c = epsilonbar*tfeed*(Pmax-Pmin)*dPbardzbar(i)/(Qfeed*L);
solQbar1 = (-b + sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);
solQbar2 = (-b - sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);
Qbar(i) = max(solQbar1,solQbar2);
end
end
end

if (ncall==0)
for i = 1:n
usbar(i) = Q0/Qfeed/rhogbar(i);
end
end
if (ncall~=0)
if adsorptionORpurge == 111
i = 1;
usbar(i) = Qin/Qfeed/rhogbar(i);
for i = 2:n
usbar(i) = Qbar(i)/rhogbar(i);
end
end
end

```

```

DM = Dem4;
for i = 1:n
DL(i) = 0.7*DM +
0.5*dp*(abs(Qbar(i))*Qfeed)/(rhogbar(i)*(Qfeed*tfeed/L)*epsilonbar);
%DL(i) = 10;
end
for i = 1:n

n1eqmbar(i) = (k1*rhob*L/Qfeed)*kk1*(y1bar(i)) *((Pmax-
Pmin)*Pbar(i)/1013250)/(1 + kk2*(y1bar(i))*((Pmax-Pmin)*Pbar(i)/1013250)+
kk3*(1-y1bar(i))*((Pmax-Pmin)*Pbar(i)/1013250));

n2eqmbar(i) = (k2*rhob*L/Qfeed)*kk4*(1-y1bar(i))*((Pmax-
Pmin)*Pbar(i)/1013250)/(1 + kk2*(y1bar(i))*((Pmax-Pmin)*Pbar(i)/1013250)+
kk3*(1-y1bar(i))*((Pmax-Pmin)*Pbar(i)/1013250));
end

if dYbardZbarDifferentialMethod == 777

for i = 3:n-2

Qbar_eps_Le = (Qbar(i-1) + Qbar(i))/(2*epsilon);
Qbar_eps_Re = (Qbar(i) + Qbar(i+1))/(2*epsilon);

if Qbar_eps_Le >= 0
flowdirectionLe = 1;
ry1barLe = (y1bar(i-1) - y1bar(i-2)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));
ry2barLe = (y2bar(i-1) - y2bar(i-2)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
elseif Qbar_eps_Le <= 0
flowdirectionLe = -1;
ry1barLe = (y1bar(i+1) - y1bar(i)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));

```

```

ry2barLe = (y2bar(i+1) - y2bar(i)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
end
superbeey1barLe = max(0 , max(min(1,2*ry1barLe) , min(2,ry1barLe)));
superbeey2barLe = max(0 , max(min(1,2*ry2barLe) , min(2,ry2barLe)));
fluxy1barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y1bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey1barLe* (y1bar(i) - y1bar(i-1));
fluxy2barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y2bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey2barLe* (y2bar(i) - y2bar(i-1));
% for right edge i+1/2
if Qbar_eps_Re >= 0
flowdirectionRe = 1;
ry1barRe = (y1bar(i) - y1bar(i-1)) / (y1bar(i+1) - ...
y1bar(i));
ry2barRe = (y2bar(i) - y2bar(i-1)) / (y2bar(i+1) - ...
y2bar(i));
elseif Qbar_eps_Re <= 0
flowdirectionRe = -1;
ry1barRe = (y1bar(i+2) - y1bar(i+1)) / (y1bar(i+1) - y1bar(i));
ry2barRe = (y2bar(i+2) - y2bar(i+1)) / (y2bar(i+1) - y2bar(i));
end
superbeey1barRe = max(0 , max(min(1,2*ry1barRe) , min(2,ry1barRe)));
superbeey2barRe = max(0 , max(min(1,2*ry2barRe) , min(2,ry2barRe)));
fluxy1barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y1bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey1barRe* (y1bar(i+1) - y1bar(i));
fluxy2barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y2bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey2barRe* (y2bar(i+1) - y2bar(i));
convecy1bar(i) = (fluxy1barLe - fluxy1barRe)/dzbar;
convecy2bar(i) = (fluxy2barLe - fluxy2barRe)/dzbar;

```

end

for i = 1

Qbar_eps_Le = (Qbar(i) + Qbar(i))/(2*epsilon);

Qbar_eps_Re = (Qbar(i) + Qbar(i+1))/(2*epsilon);

if Qbar_eps_Le >= 0

flowdirectionLe = 1;

ry1barLe = 1;

ry2barLe = 1;

elseif Qbar_eps_Le <= 0

flowdirectionLe = -1;

ry1barLe = 1;

ry2barLe = 1;

end

superbeey1barLe = max(0 , max(min(1,2*ry1barLe) , min(2,ry1barLe)));

superbeey2barLe = max(0 , max(min(1,2*ry2barLe) , min(2,ry2barLe)));

fluxy1barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionLe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey1barLe* (y1bar(i) - y1bar(i));

fluxy2barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionLe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey2barLe* (y2bar(i) - y2bar(i));

if Qbar_eps_Re >= 0

flowdirectionRe = 1;

ry1barRe = 0;

ry2barRe = 0;

elseif Qbar_eps_Re <= 0

flowdirectionRe = -1;

ry1barRe = (y1bar(i+2) - y1bar(i+1)) / (y1bar(i+1) - y1bar(i));

ry2barRe = (y2bar(i+2) - y2bar(i+1)) / (y2bar(i+1) - y2bar(i));

```

end
superbeey1barRe = max(0 , max(min(1,2*ry1barRe) , min(2,ry1barRe)));
superbeey2barRe = max(0 , max(min(1,2*ry2barRe) , min(2,ry2barRe)));
fluxy1barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y1bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey1barRe* (y1bar(i+1) - y1bar(i));
fluxy2barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y2bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey2barRe* (y2bar(i+1) - y2bar(i));
convecy1bar(i) = (fluxy1barLe - fluxy1barRe)/dzbar;
convecy2bar(i) = (fluxy2barLe - fluxy2barRe)/dzbar;
end

for i = 2
Qbar_eps_Le = (Qbar(i-1) + Qbar(i))/(2*epsilon);
Qbar_eps_Re = (Qbar(i) + Qbar(i+1))/(2*epsilon);

if Qbar_eps_Le >= 0
flowdirectionLe = 1;
ry1barLe = 0;
ry2barLe = 0;
elseif Qbar_eps_Le <= 0
flowdirectionLe = -1;
ry1barLe = (y1bar(i+1) - y1bar(i)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));
ry2barLe = (y2bar(i+1) - y2bar(i)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
end
superbeey1barLe = max(0 , max(min(1,2*ry1barLe) , min(2,ry1barLe)));
superbeey2barLe = max(0 , max(min(1,2*ry2barLe) , min(2,ry2barLe)));
fluxy1barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y1bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey1barLe* (y1bar(i) - y1bar(i-1));

```

```

fluxy2barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y2bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey2barLe* (y2bar(i) - y2bar(i-1));

```

```

if Qbar_eps_Re >= 0

```

```

flowdirectionRe = 1;

```

```

ry1barRe = (y1bar(i) - y1bar(i-1)) / (y1bar(i+1) - y1bar(i));

```

```

ry2barRe = (y2bar(i) - y2bar(i-1)) / (y2bar(i+1) - y2bar(i));

```

```

elseif Qbar_eps_Re <= 0

```

```

flowdirectionRe = -1;

```

```

ry1barRe = (y1bar(i+2) - y1bar(i+1)) / (y1bar(i+1) - y1bar(i));

```

```

ry2barRe = (y2bar(i+2) - y2bar(i+1)) / (y2bar(i+1) - y2bar(i));

```

```

end

```

```

superbeey1barRe = max(0 , max(min(1,2*ry1barRe) , min(2,ry1barRe)));

```

```

superbeey2barRe = max(0 , max(min(1,2*ry2barRe) , min(2,ry2barRe)));

```

```

fluxy1barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y1bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey1barRe* (y1bar(i+1) - y1bar(i));

```

```

fluxy2barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y2bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey2barRe* (y2bar(i+1) - y2bar(i));

```

```

convecy1bar(i) = (fluxy1barLe - fluxy1barRe)/dzbar;

```

```

convecy2bar(i) = (fluxy2barLe - fluxy2barRe)/dzbar;

```

```

end

```

```

for i = n-1

```

```

Qbar_eps_Le = (Qbar(i-1) + Qbar(i))/(2*epsilon);

```

```

Qbar_eps_Re = (Qbar(i) + Qbar(i+1))/(2*epsilon);

```

```

if Qbar_eps_Le >= 0

```

```

flowdirectionLe = 1;

```

```

ry1barLe = (y1bar(i-1) - y1bar(i-2)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));

```

```

ry2barLe = (y2bar(i-1) - y2bar(i-2)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
elseif Qbar_eps_Le <= 0
flowdirectionLe = -1;
ry1barLe = (y1bar(i+1) - y1bar(i)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));
ry2barLe = (y2bar(i+1) - y2bar(i)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
end
superbeey1barLe = max(0 , max(min(1,2*ry1barLe) , min(2,ry1barLe)));
superbeey2barLe = max(0 , max(min(1,2*ry2barLe) , min(2,ry2barLe)));
fluxy1barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y1bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey1barLe* (y1bar(i) - y1bar(i-1));
fluxy2barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y2bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey2barLe* (y2bar(i) - y2bar(i-1));

if Qbar_eps_Re >= 0
flowdirectionRe = 1;
ry1barRe = (y1bar(i) - y1bar(i-1)) / (y1bar(i+1) - y1bar(i));
ry2barRe = (y2bar(i) - y2bar(i-1)) / (y2bar(i+1) - y2bar(i));
elseif Qbar_eps_Re <= 0
flowdirectionRe = -1;
ry1barRe = 0;
ry2barRe = 0;
end
superbeey1barRe = max(0 , max(min(1,2*ry1barRe) , min(2,ry1barRe)));
superbeey2barRe = max(0 , max(min(1,2*ry2barRe) , min(2,ry2barRe)));
fluxy1barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y1bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey1barRe* (y1bar(i+1) - y1bar(i));
fluxy2barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y2bar(i+1)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey2barRe* (y2bar(i+1) - y2bar(i));

```

```

convecy1bar(i) = (fluxy1barLe - fluxy1barRe)/dzbar;
convecy2bar(i) = (fluxy2barLe - fluxy2barRe)/dzbar;
end

for i = n
Qbar_eps_Le = (Qbar(i-1) + Qbar(i))/(2*epsilon);
Qbar_eps_Re = (Qbar(i) + Qbar(i))/(2*epsilon);

if Qbar_eps_Le >= 0
flowdirectionLe = 1;
ry1barLe = (y1bar(i-1) - y1bar(i-2)) / (y1bar(i) - y1bar(i-1));
ry2barLe = (y2bar(i-1) - y2bar(i-2)) / (y2bar(i) - y2bar(i-1));
elseif Qbar_eps_Le <= 0
flowdirectionLe = -1;
ry1barLe = 0;
ry2barLe = 0;
end

superbeey1barLe = max(0 , max(min(1,2*ry1barLe) , min(2,ry1barLe)));
superbeey2barLe = max(0 , max(min(1,2*ry2barLe) , min(2,ry2barLe)));
fluxy1barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y1bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey1barLe* (y1bar(i) - y1bar(i-1));
fluxy2barLe = 0.5*Qbar_eps_Le*((1 + flowdirectionLe)*y2bar(i-1) + (1 -
flowdirectionLe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Le)*(1 -
abs(Qbar_eps_Le*dtbar/dzbar))*superbeey2barLe* (y2bar(i) - y2bar(i-1));

if Qbar_eps_Re >= 0
flowdirectionRe = 1;
ry1barRe = 1;
ry2barRe = 1;
elseif Qbar_eps_Re <= 0
flowdirectionRe = -1;

```

```

ry1barRe = 1;
ry2barRe = 1;
end
superbeey1barRe = max(0 , max(min(1,2*ry1barRe) , min(2,ry1barRe)));
superbeey2barRe = max(0 , max(min(1,2*ry2barRe) , min(2,ry2barRe)));
fluxy1barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y1bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y1bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey1barRe* (y1bar(i) - y1bar(i));
fluxy2barRe = 0.5*Qbar_eps_Re*((1 + flowdirectionRe)*y2bar(i) + (1 -
flowdirectionRe)*y2bar(i)) + 0.5*abs(Qbar_eps_Re)*(1 -
abs(Qbar_eps_Re*dtbar/dzbar))*superbeey2barRe* (y2bar(i) - y2bar(i));
convecy1bar(i) = (fluxy1barLe - fluxy1barRe)/dzbar;
convecy2bar(i) = (fluxy2barLe - fluxy2barRe)/dzbar;
end
end

for i=1
dY1bardtbar(i) = convecy1bar(i) - (n1eqmbar(i)-n1bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y1bar(i+2)-
2*Y1bar(i+1)+Y1bar(i))/(dzbar)^2;
dY2bardtbar(i) = convecy2bar(i) - (n2eqmbar(i)-n2bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y2bar(i+2)-
2*Y2bar(i+1)+Y2bar(i))/(dzbar)^2;
end
for i=2:n-1
dY1bardtbar(i) = convecy1bar(i) - (n1eqmbar(i)-n1bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y1bar(i+1)-2*Y1bar(i)+Y1bar(i-
1))/(dzbar)^2;
dY2bardtbar(i) = convecy2bar(i) - (n2eqmbar(i)-n2bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y2bar(i+1)-2*Y2bar(i)+Y2bar(i-
1))/(dzbar)^2;
end

```

```

for i=n
dY1bardtbar(i) = convey1bar(i) - (n1eqmbar(i)-n1bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y1bar(n)-2*Y1bar(n-1)+Y1bar(n-
2))/(dzbar)^2;
dY2bardtbar(i) = convey2bar(i) - (n2eqmbar(i)-n2bar(i))/epsilon
+(epsilonbar*DL(i)*tfeed/(epsilon*L^2))*(Y2bar(n)-2*Y2bar(n-1)+Y2bar(n-
2))/(dzbar)^2;
end
for i=n
dY1bardtbar(i) = convey1bar(i) - (n1eqmbar(i)-n1bar(i))/epsilon + 0;
dY2bardtbar(i) = convey2bar(i) - (n2eqmbar(i)-n2bar(i))/epsilon + 0;
end
for i=1:n
dn1bardtbar(i) = k1*tfeed*(n1eqmbar(i)-n1bar(i));
dn2bardtbar(i) = k2*tfeed*(n2eqmbar(i)-n2bar(i));
end
for i = 1:n
Yt(0*n+i) = dY1bardtbar(i);
Yt(1*n+i) = dn1bardtbar(i);
Yt(2*n+i) = dn2bardtbar(i);
Yt(3*n+i) = dY2bardtbar(i);
end
i = 1;
Yt(0*n+i) = 0;
Yt(3*n+i) = 0;
yt=Yt';

ncall=ncall+1;

```

VARIABLES DE ANALISIS

%Proposición de las unidades a las variables.

```
for it = 1:nout
for i = 1:n
no2(it,i)= (Qfeed/(k1*rhob*L)).*n1bar(it,i); %cantidad adsorbida mmol/g
nn2(it,i)= (Qfeed/(k1*rhob*L)).*n2bar(it,i); %cantidad adsorbida mmol/g
densidad(it,i)= (Qfeed*tfeed/L).*rhogbar(it,i); %densidad del gas mmol/cm^3
end
end
for it = 1:nout
for i = 1:n
molo2sol(it,i)= (A*L*rhob/n).*no2(it,i); %cantidad adsorbida mmol
moln2sol(it,i)= (A*L*rhob/n).*nn2(it,i); %cantidad adsorbida mmol
end
end
```

%conteo de los diferentes cantidades adsorbidas en el tiempo

```
for it= 1:nout
totalo2sol(it) = 0;
totaln2sol(it) = 0;
for i=1:n
totalo2sol(it) = totalo2sol(it) + molo2sol(it,i);
totaln2sol(it)= totaln2sol(it) + moln2sol(it,i);
end
end
```

```
mmolo2eneltiempoinicialensolido = totalo2sol(1);
mmoln2eneltiempoinicialensolido = totaln2sol(1);
fraccionmoldeO2ensolidoinicial =
mmolo2eneltiempoinicialensolido/(mmoln2eneltiempoinicialensolido+mmolo2en
eltiempoinicialensolido)
```

```
mmolo2eneltiempofinalensolido = totalo2sol(nout);
mmoln2eneltiempofinalensolido = totaln2sol(nout);
```

```

fraccionmolden2enelsolidofinal=
mmolo2eneltiempofinalensolido/(mmolo2eneltiempofinalensolido+mmoln2enelti
empofinalensolido)

```

```

deltammolo2ensolido      =      mmolo2eneltiempofinalensolido      -
mmolo2eneltiempoinicialensolido
deltammoln2ensolido     =      mmoln2eneltiempofinalensolido     -
mmoln2eneltiempoinicialensolido

```

%Proposición de las unidades a las variables.

```

for it = 1:nout
for i = 1:n
molo2vacio(it,i)= (epsilon*L*A/n).*densidad(it,i)*y1bar(it,i);  %cantidad no
adsorbida mmol
moln2vacio(it,i)= (epsilon*L*A/n).*densidad(it,i)*y2bar(it,i);  %cantidad no
adsorbida mmol

```

```
end
```

```
end
```

```
for it = 1:nout
```

```
fracciono2salida(it) = (molo2vacio(it,n)/ (molo2vacio(it,n)+ moln2vacio(it,n)));
```

```
end
```

```
for it = 1:nout
```

```
fracciono2mitad(it) = (molo2vacio(it,(n+1)/2)/ (molo2vacio(it,(n+1)/2)+
moln2vacio(it,(n+1)/2)));
```

```
end
```

%conteo de las diferentes cantidades no adsorbidas en el tiempo

```
for it = 1:nout
```

```
totalo2vacio (it) = 0;
```

```
totaln2vacio (it) = 0;
```

```
for i=1:n
```

```

totalo2vacio(it) = totalo2vacio(it) + molo2vacio(it,i);
totaln2vacio(it) = totaln2vacio(it) + moln2vacio(it,i);
end
end

```

```

for it = 1:nout
fracciontotaldevacio(it)=totalo2vacio(it)/(totaln2vacio(it)+totalo2vacio(it));
end

```

%cantidades iniciales

```

o2inicialensolido = A*L*rhob*n10;
o2inicialengas = epsilon*A*L*(y10)*rhog0;
totalo2inicial = o2inicialensolido + o2inicialengas;
n2inicialensolido = A*L*rhob*n20;
n2inicialengas = epsilon*A*L*(y20)*rhog0;
totaln2inicial = n2inicialensolido + n2inicialengas;

```

```

for it=1:nout

```

```

totalmolalimento(it) = qfeed*t(it);
totaln2alimento(it) = totalmolalimento(it)*y2feed;
totalo2alimento(it) = totalmolalimento(it)*y1feed;
totaln2(it) = totaln2sol(it)+totaln2vacio(it);
totalo2(it) = totalo2sol(it)+totalo2vacio(it);

```

%cantidades desplazadas del lecho

```

o2desplazado(it) = totalo2(1) + totalo2alimento(it) - totalo2(it);
n2desplazado(it) = totaln2(1) + totaln2alimento(it) - totaln2(it);

```

%cantidades repartidas en la zeolita y el espacio vacío.

```

n2absorbido1(it) =(totaln2sol(it)-totaln2sol(1));
fracn2delalimentoensol1(it) =(n2absorbido1(it)/totaln2alimento(it));

```

```

o2purdelalimentoengas1(it) =
fracn2delalimentoensol1(it)*(y1feed/y2feed)*totaln2alimento(it);
o2delsolidoengas(it)= - totalo2sol(it) + totalo2sol(1);
n2delalimentoengas(it)= (totaln2alimento(it)-n2absorbido1(it));
fracrecuperadao2(it) =(totalo2alimento(it)-totalo2(it))/totalo2alimento(it);
totalpurezadesalida(it)= o2desplazado(it)/(n2desplazado(it)+o2desplazado(it));
fracciontotalo2(it)= totalo2(it)/(totaln2(it)+totalo2(it));
fracciontotaln2(it)= totaln2(it)/(totaln2(it)+totalo2(it));
end

```

%cantidades repartidas en la zeolita y el espacio vacío. (comprobación)

```

for it= 1:nout
n2absorbido2(it)= (totaln2alimento(it)-(totaln2vacio(it)- (n2inicialengas-
n2desplazado(it))));
fracn2delalimentoensol2(it) = n2absorbido2(it)/totaln2alimento(it);
o2purdelalimentoengas2(it) = fracn2delalimentoensol2(it)*(y1feed/y2feed)
*totaln2alimento(it);
o2delsolidoengas2(it)= totalo2vacio(it)-totalo2alimento(it)-(n2inicialengas-
n2desplazado(it));
n2delalimentoengas2(it)= (totaln2alimento(it)-n2absorbido2(it));
fracrecuperadao2(it) =(totalo2alimento(it)-totalo2(it))/totalo2alimento(it);
end

```

GRAFICAS PROPUESTAS.

Titulo de las graficas propuestas "title" en la programación contiene la temática de cada grafica.

```

figure(2)
plot(t(:), fracciontotaldevacio(:),'LineWidth',2)
xlabel('tiempo, t(s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')

```

```

ylabel('fraccion de oxigeno ', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('fraccion total de oxigeno del en el lecho vs. tiempo', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
axis([0 tfeed 0 1])
grid on

```

```

figure(3)
plot(t(:), totalpurezadesalida(:), 'LineWidth', 2)
xlabel('tiempo, t (s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('fraccion de oxigeno ', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('fraccion total de oxigeno de gas desplazado del lecho vs. tiempo', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
axis([0 tfeed 0 1])
grid on

```

```

figure(4)
plot(t(:), fracciono2salida(:), 'LineWidth', 2)
xlabel('tiempo, t (s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('fraccion de oxigeno ', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('fraccion de oxigeno del gas en salida del lecho vs. tiempo', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
axis([0 tfeed 0 1])
grid on

```

```

figure(5)
plot(t(:), fracciono2mitad(:), 'LineWidth', 2)
xlabel('tiempo, t (s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('fraccion de oxigeno', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('fraccion de oxigeno del gas en la mitad del lecho vs. tiempo', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
axis([0 tfeed 0 1])
grid on

```

```

figure(6)
plot(z,y1bar(1,:), 'r',z,(y2bar(1,:)) , 'b','LineWidth',2)
h = legend('y_{O2}','y_{N2}');
xlabel('z, cm','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('fraccion molar , y_{O2} y y_{N2}','color','k',.....
'fontsize',10,'fontweight','b')
title('fraccion molar vs. z en el tiempo inicial','color','k','fontsize',....
12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(7)
plot(z,y1bar((nout+1)/2,:), 'r',z,(y2bar((nout+1)/2,:)) , 'b','LineWidth',2)
h = legend('y_{O2}','y_{N2}');
xlabel('z, cm','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('fraccion molar, y_{O2} y y_{N2}','color','k',.....
'fontsize',10,'fontweight','b')
title('fraccion molar vs. z en la mitad del tiempo de
alimentacion','color','k','fontsize',....
12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(8)
plot(z,y1bar(nout,:), 'r',z,(y2bar(nout,:)) , 'b','LineWidth',2)
h = legend('y_{O2}','y_{N2}');
xlabel('z, cm','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('fraccion molar , y_{O2} y y_{N2}','color','k',.....
'fontsize',10,'fontweight','b')
title('fraccion molar vs. z en el tiempo final','color','k','fontsize',....
12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(9)
plot(t,o2desplazado(:),'r',t,n2desplazado(:) ,'b','LineWidth',2)
h = legend('mmol_{O2}','mmol_{N2}');
xlabel('tiempo, (s)','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('cantidad desplazada , mmol_{O2} and mmol_{N2}','color','k',.....
'fontsize',10,'fontweight','b')
title('cantidad desplazada vs. tiempo ','color','k','fontsize',....
12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(10)
plot(z,molo2sol(1,:),'r',z,moln2sol(1,:),'b','LineWidth',2)
h = legend('n_{O2}','n_{N2}');
xlabel('z, cm','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('cantidad adsorbida, n_{O2} and n_{N2}
(mmol)','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
title('cantidad adsorbida vs. z en el tiempo
inicial','color','k','fontsize',12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(11)
plot(z,molo2sol((nout+1)/2,:),'r',z,moln2sol((nout+1)/2,:),'b','LineWidth',2)
h = legend('n_{O2}','n_{N2}');
xlabel('z, cm','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
ylabel('cantidad adsorbida, n_{O2} and n_{N2}
(mmol)','color','k','fontsize',10,'fontweight','b')
title('cantidad adsorbida vs. z en la mitad del tiempo de
alimentacion','color','k','fontsize',12,'fontweight','b')
grid on

```

```

figure(12)
plot(z, molo2sol(nout,:),'r',z,moln2sol(nout,:),'b','LineWidth',2)

```

```

h = legend('n_{O2}', 'n_{N2}');
xlabel('z, cm', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('cantidad adsorbida, n_{O2} and n_{N2} (mmol)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('cantidad adsorbida vs. z en el tiempo final', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
grid on

```

```

figure(13)
plot(t, (L/tfeed).*usbar(:,n), 'LineWidth', 2)
xlabel('t, sec', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('velocidad superficial, Us (cm/s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('velocidad superficial vs. tiempo en la salida del lecho', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
grid on

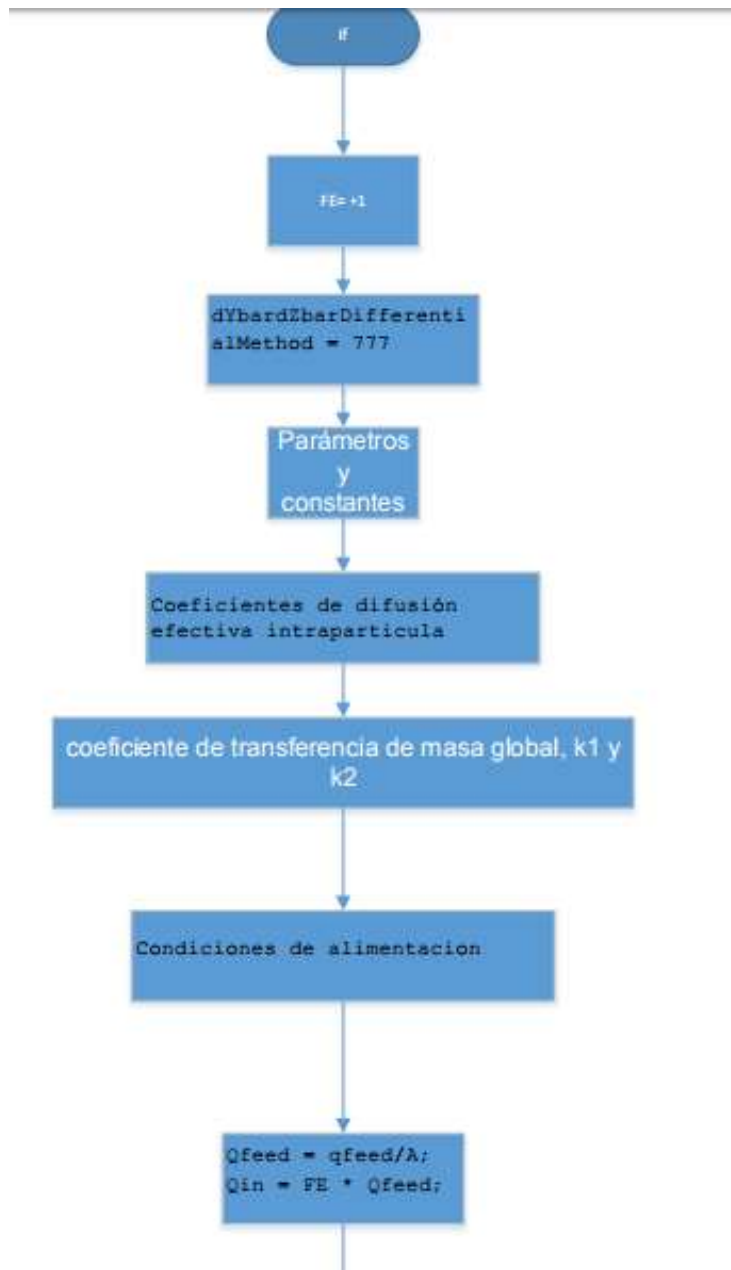
```

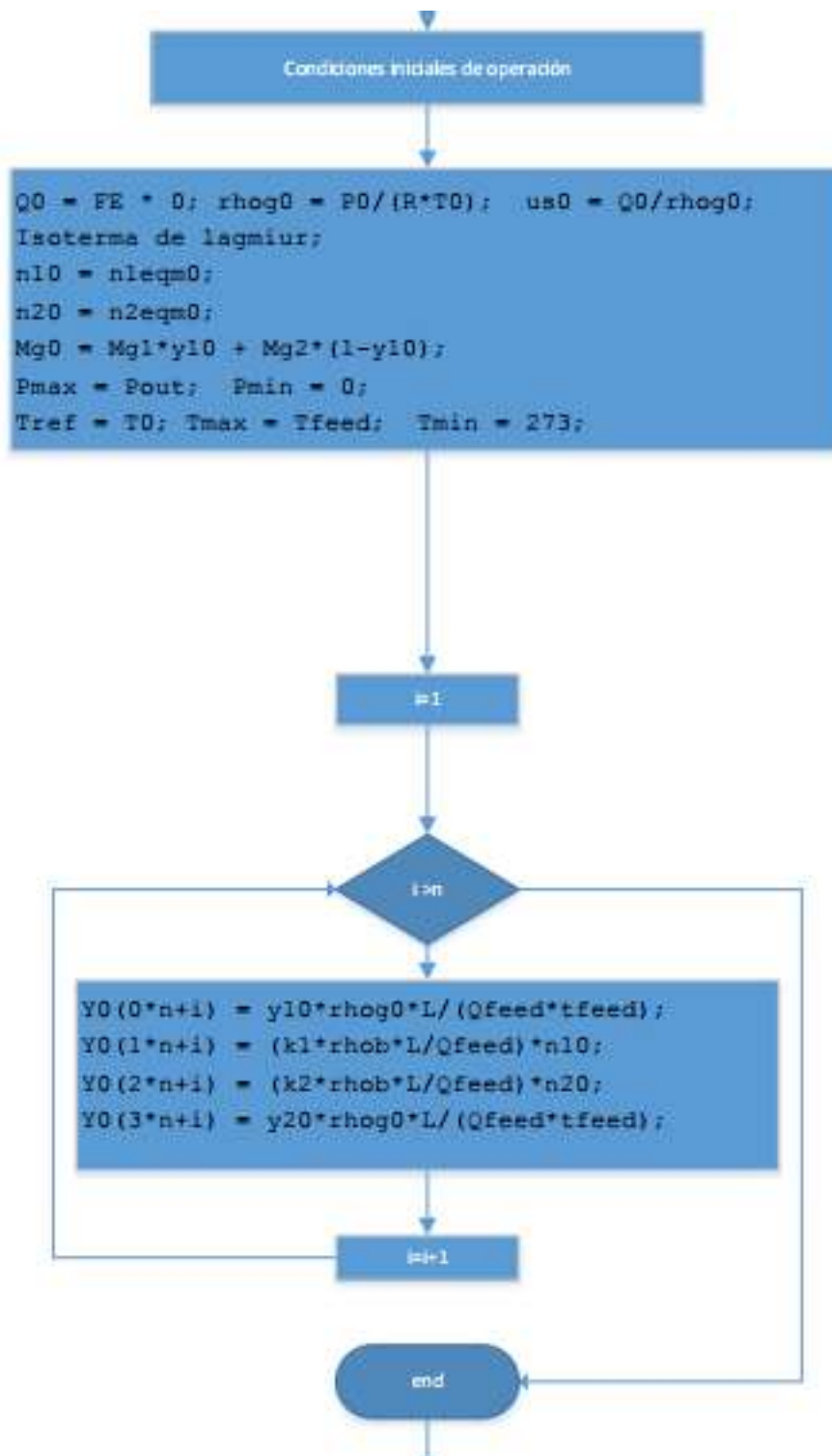
```

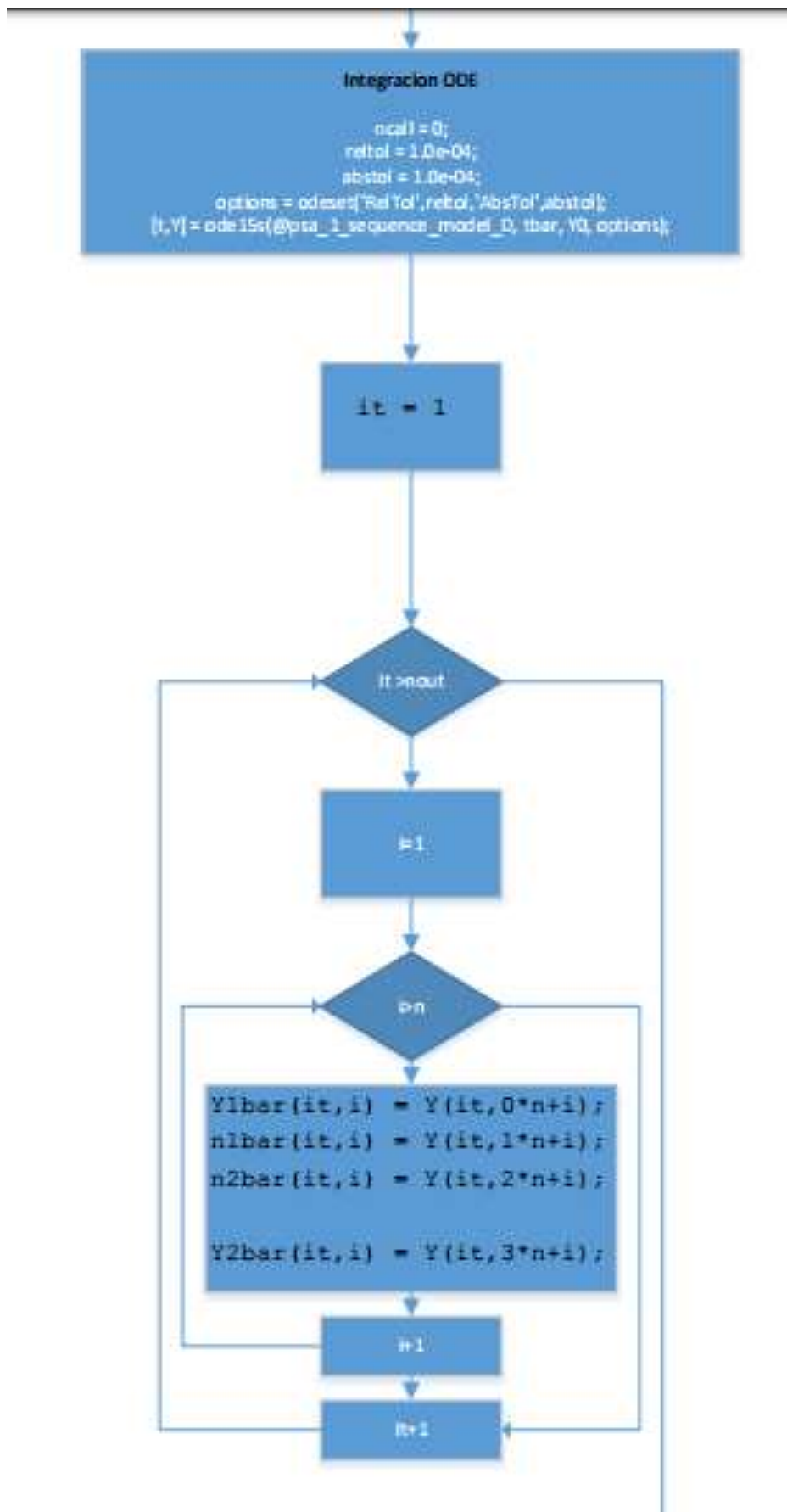
figure(14)
plot(t, 56.*Qbar(:,n), 'LineWidth', 2)
xlabel('t (s)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
ylabel('flujo masico, Q (litros/min)', 'color', 'k', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'b')
title('flujo masico vs. tiempo en la salida del lecho', 'color', 'k', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'b')
grid on

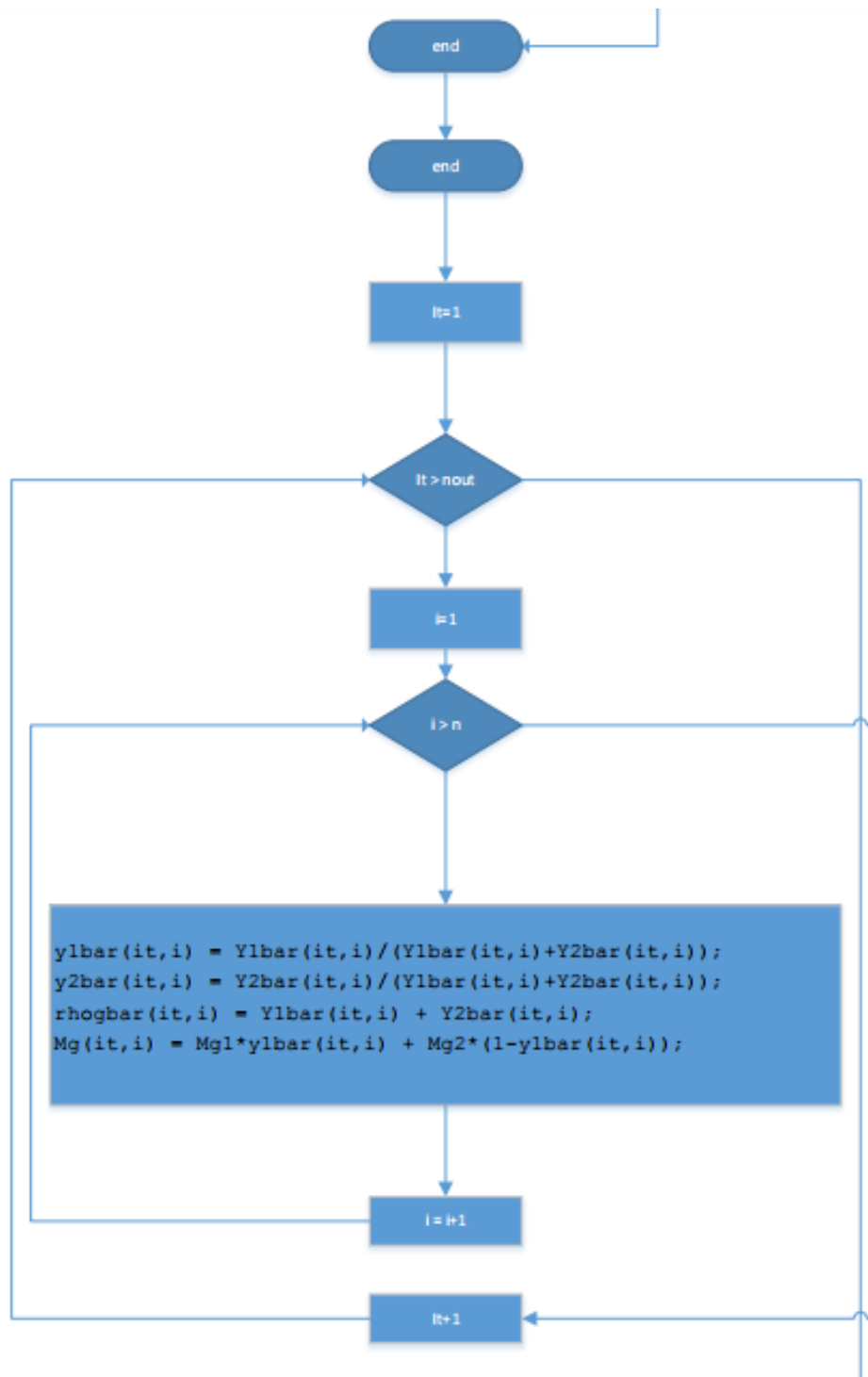
```

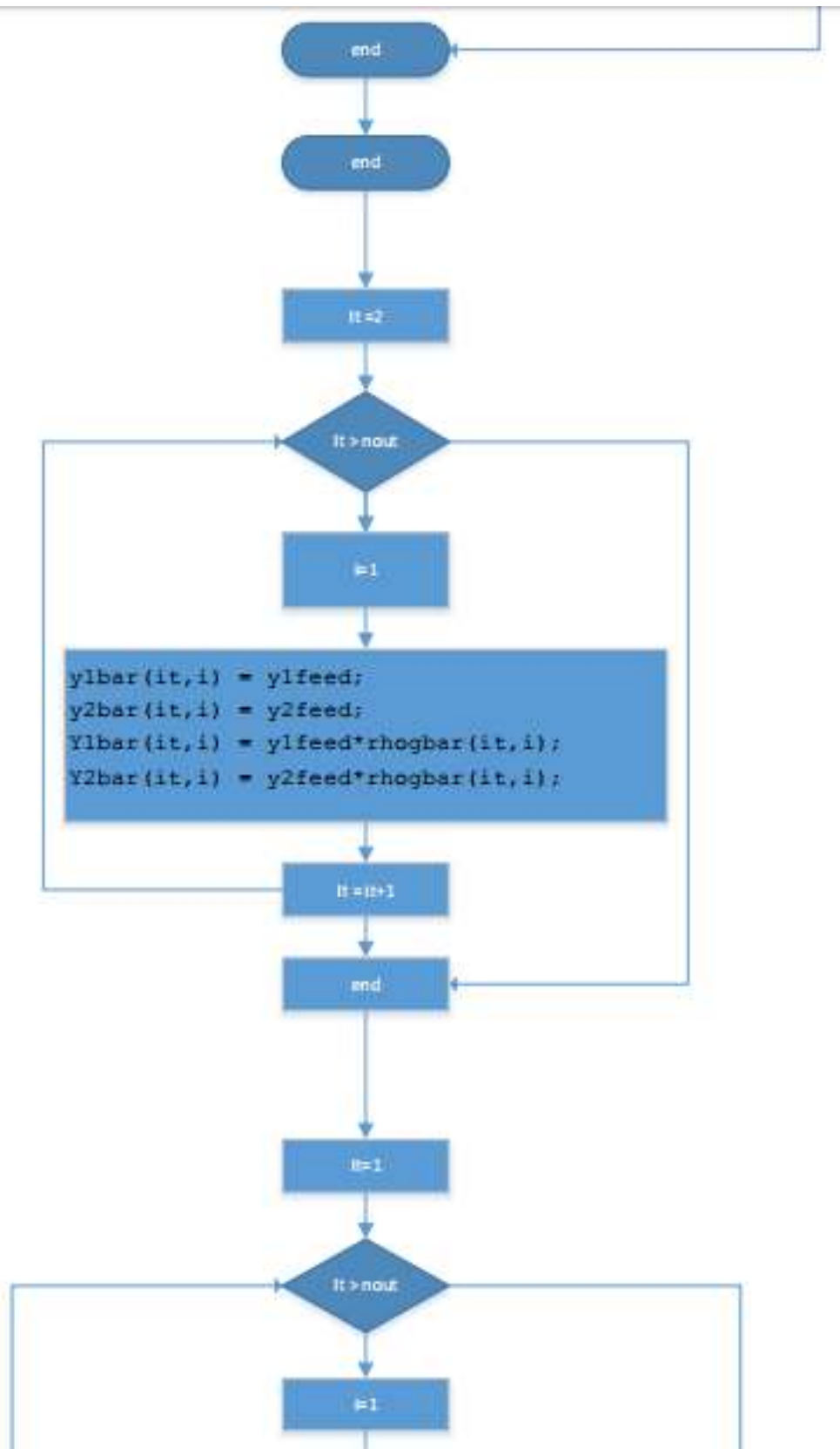
ALGORITMO DE LA RUTINA PRINCIPAL

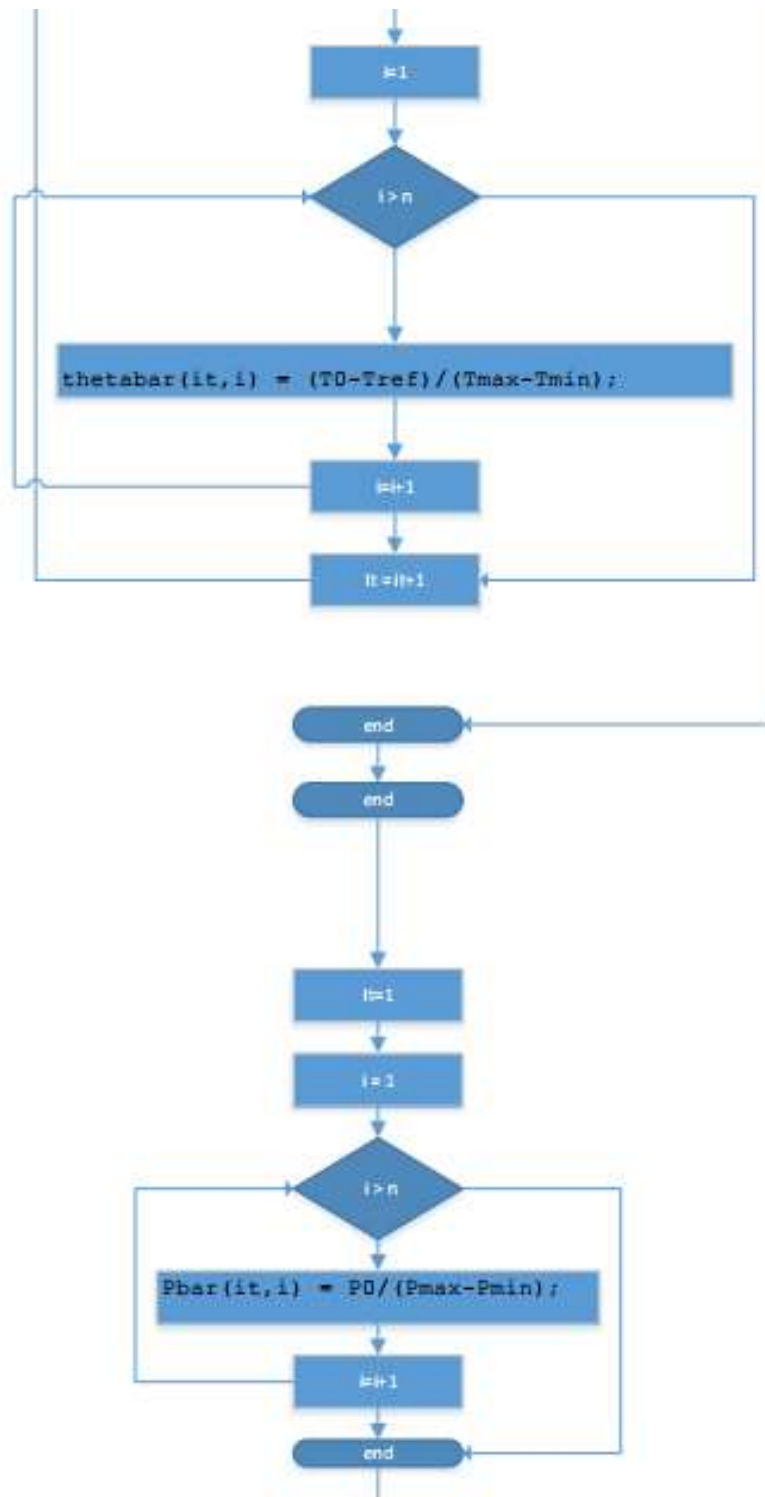


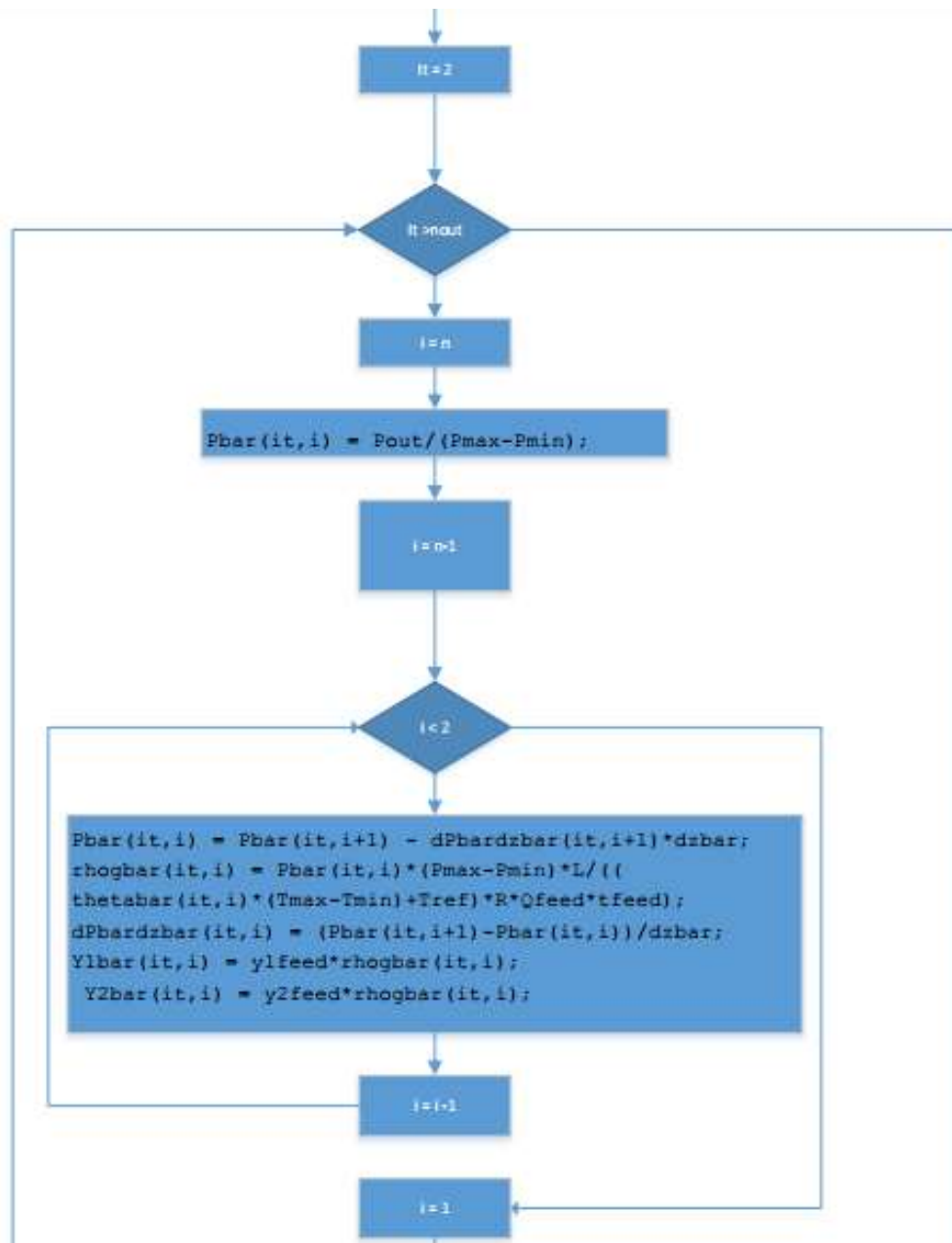


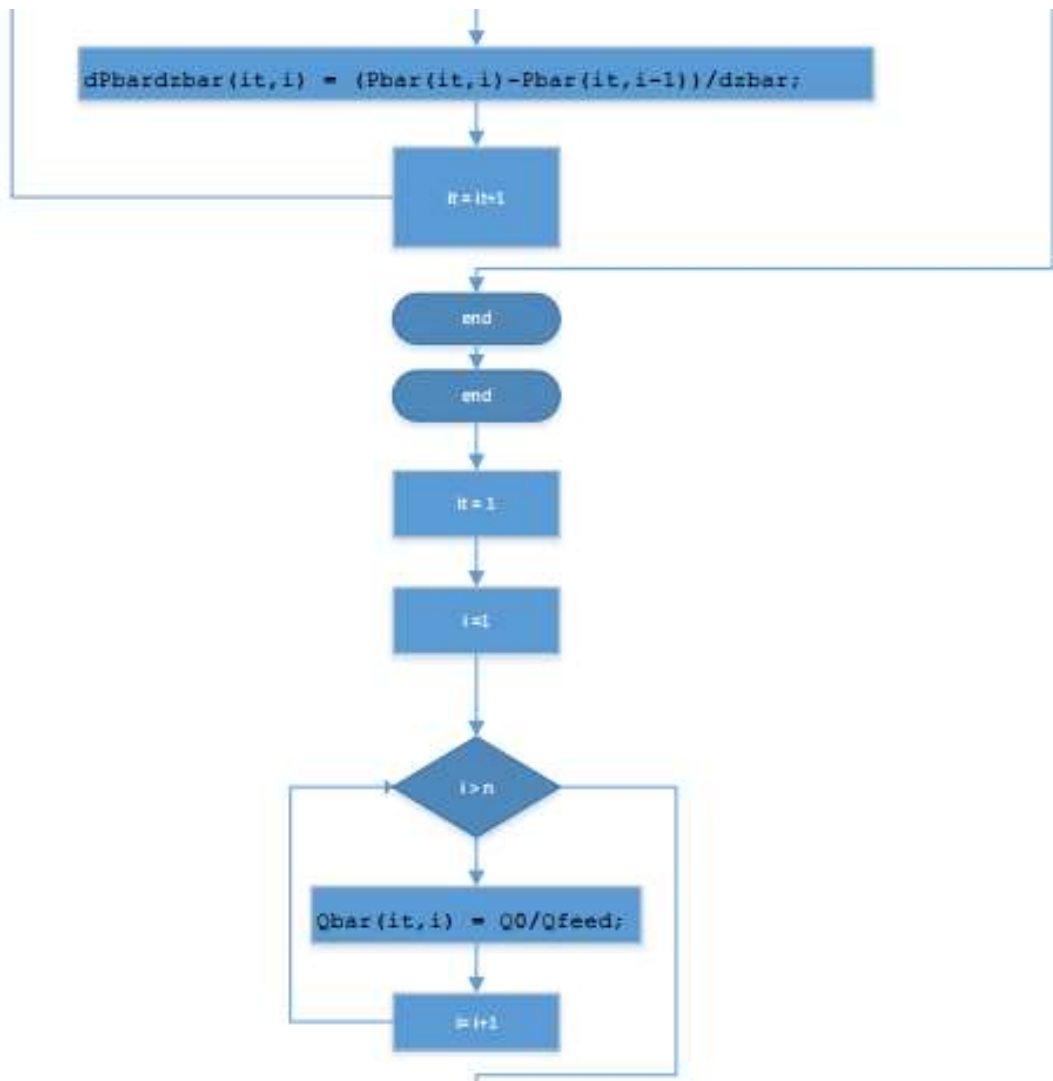


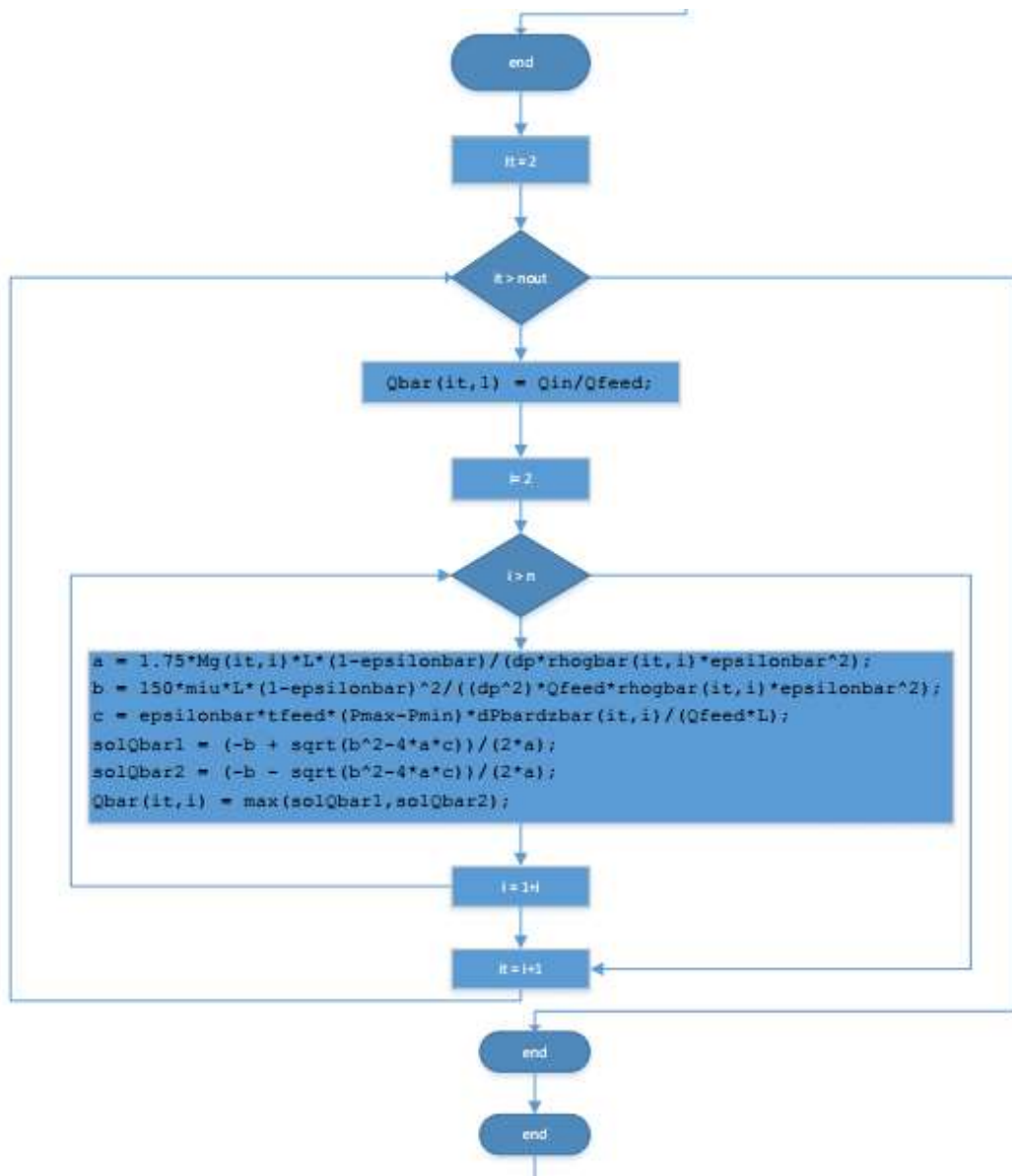


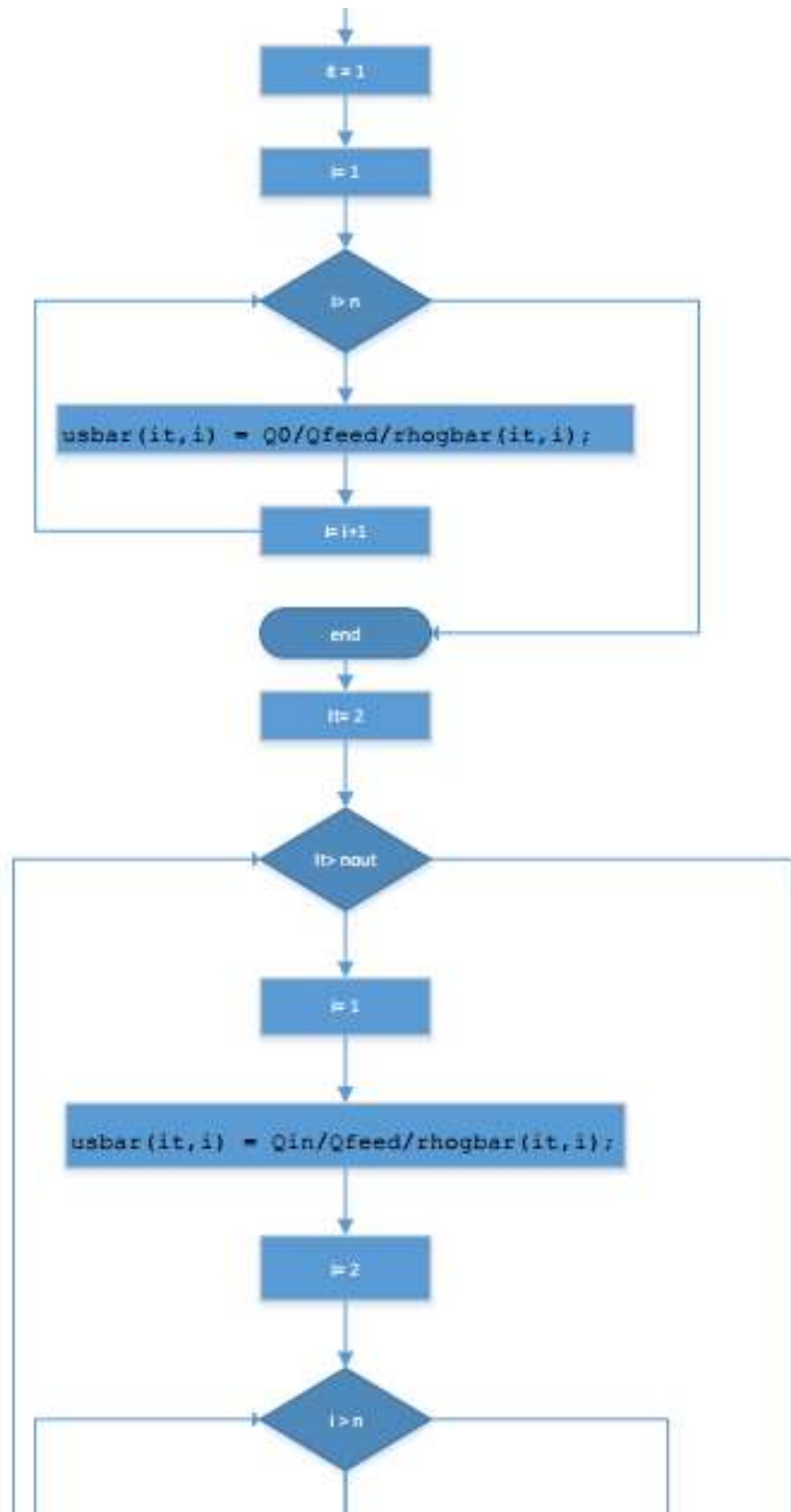


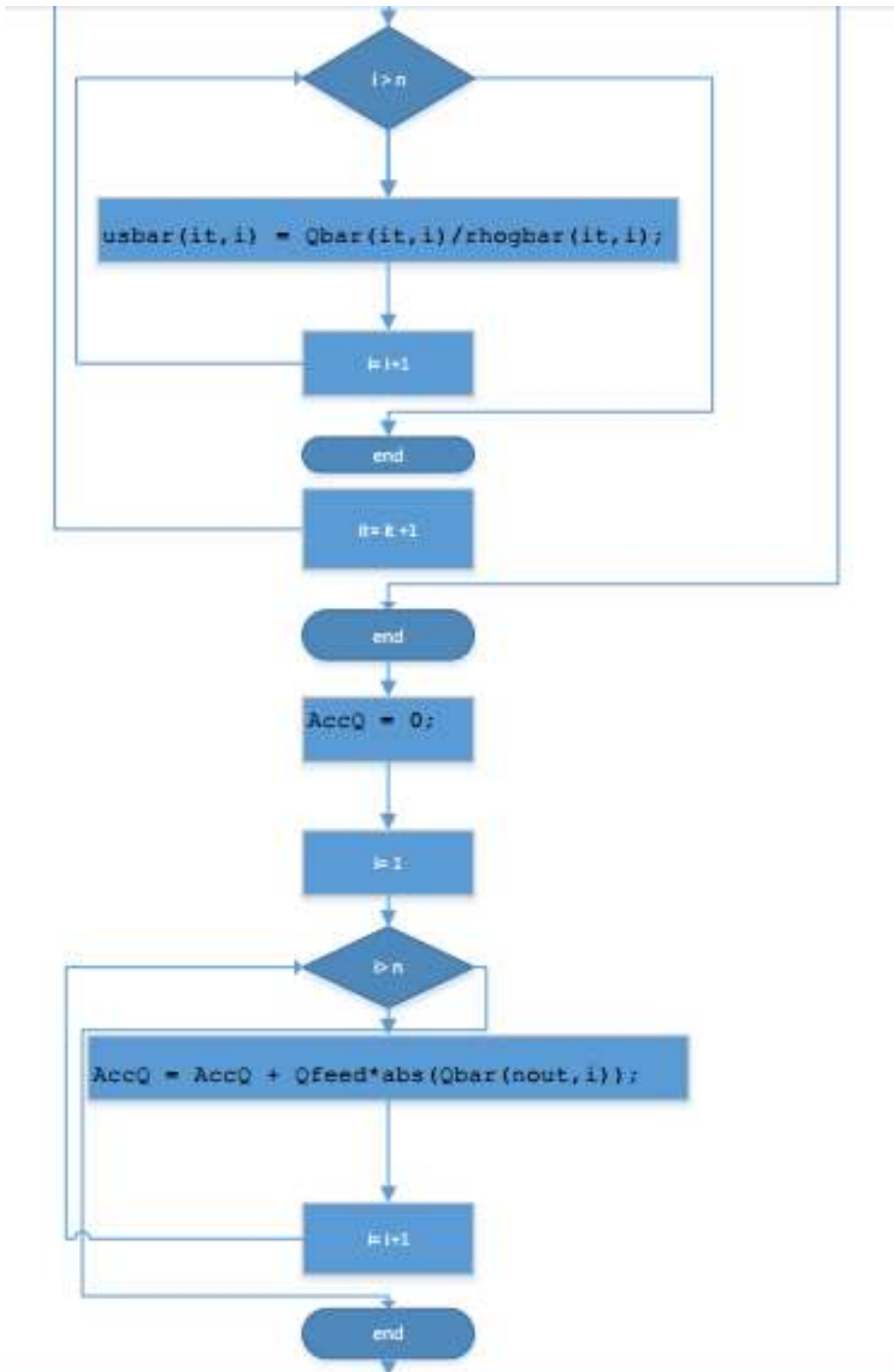


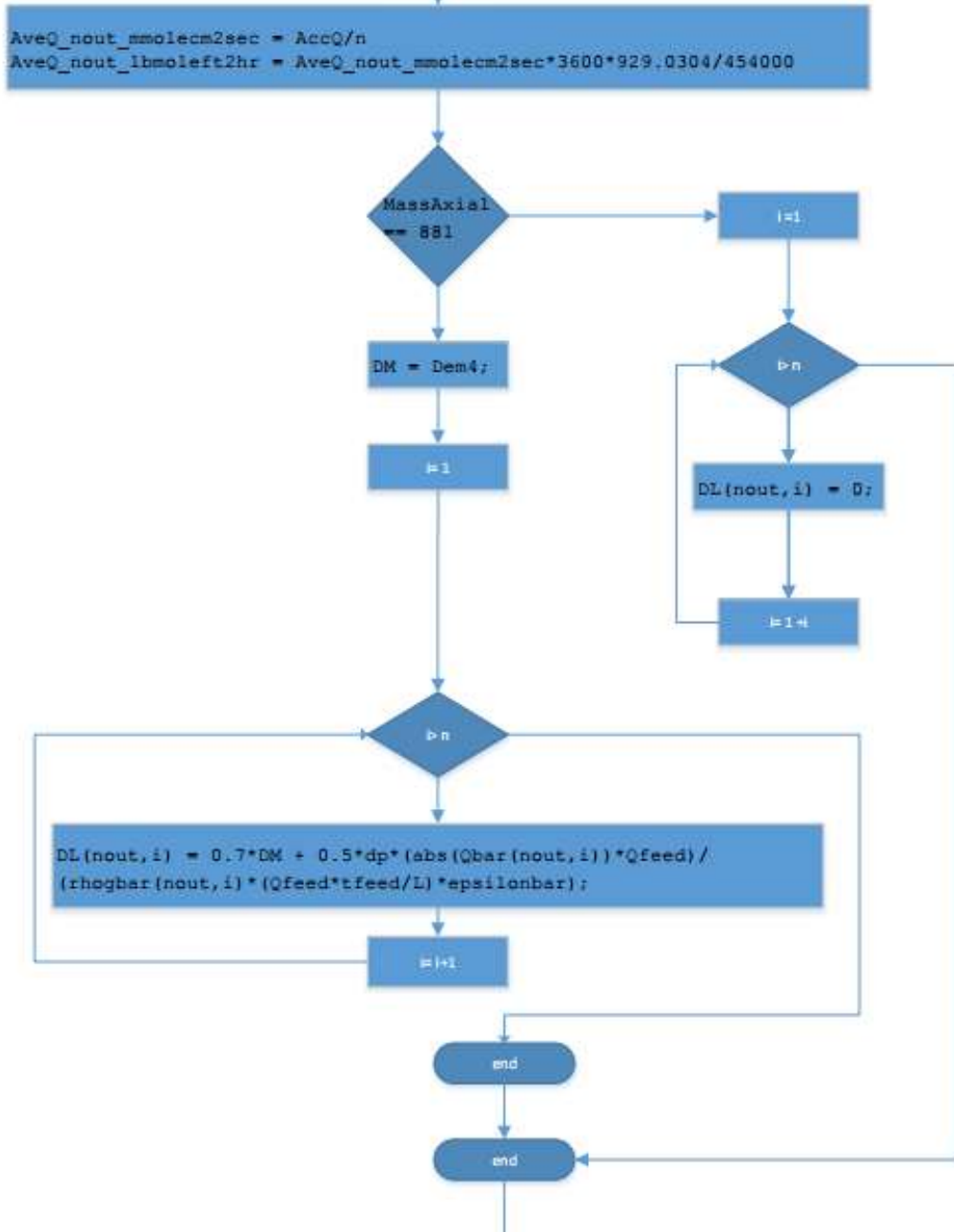


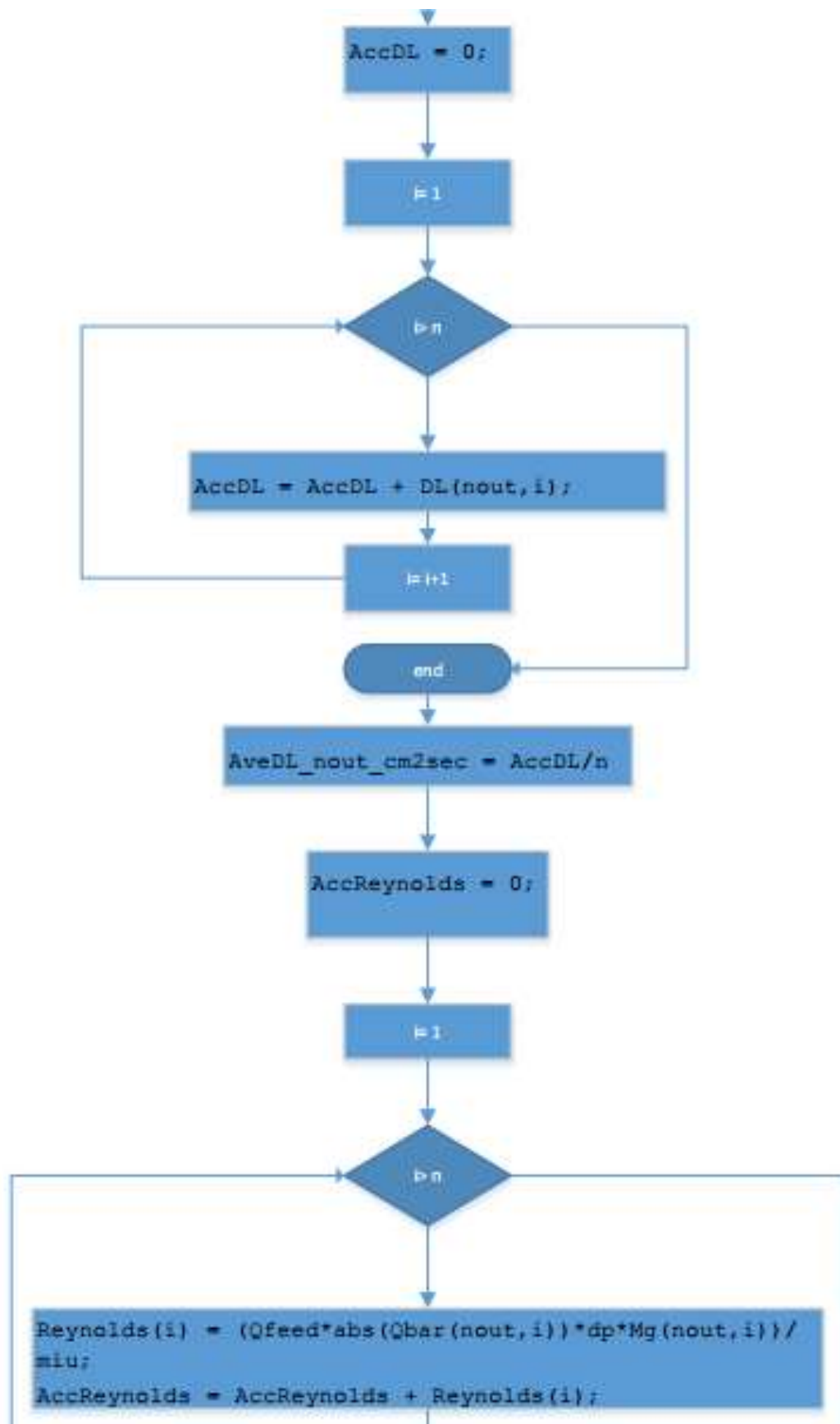


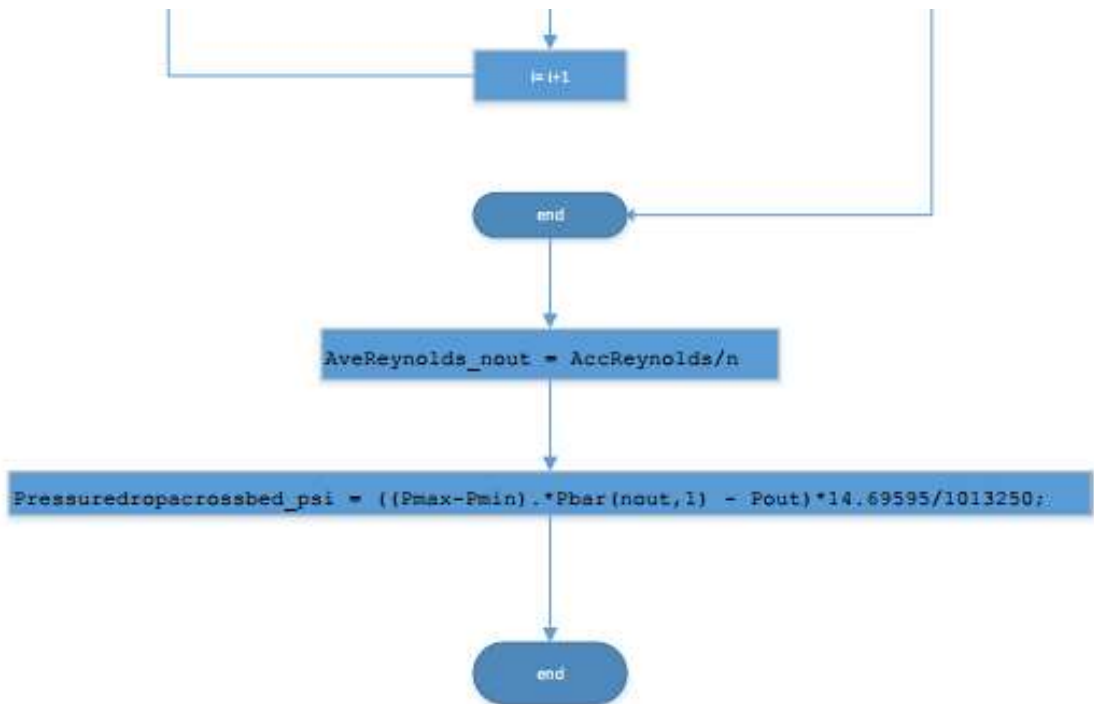












ANEXO G. BIBLIOGRAFIA DE LOS ARTICULOS.

Tabla 22. bibliografía de los artículos con parámetros para simular.

Numero	Articulo	Referencia
1	NUMERICAL SIMULATION OF A PRESSURE SWING ADSORPTION OXYGEN UNIT	S. FAROOQ, D. M. RUTHVEN' and H. A. BONIFACE Department of Chemical Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., Canada E3B 5A3Fredericton, N.B., Canada,17 April 1989) .
2	Design of a Two-Step Pulsed Pressure-Swing Adsorption-Based Oxygen Concentrator	V. Rama Rao, S. Farooq, and W. B. Krantz Dept. of Chemical and Biomolecular Engineering, National University of Singapore, August 13, 2009.
3	Oxygen separation from air by PSA: modelling and experimental results Part I: isothermal operation	Ade'lio M.M. Mendes a, Carlos A.V. Costa a,* , Ali'rio E. Rodrigues 24 November 2000.
4	ADSORBENT PARTICLE SIZE EFFECTS IN THE SEPARATION OF AIR BY RAPID PRESSURE SWING ADSORPTION	E. ALPAY,' C. N. KINNEY and D. M. SCOTT Department of Chemical Engineering, University of Cambridge,30 March 1994.
5	SIMULATION OF RAPID PRESSURE SWING ADSORPTION AND REACTION PROCESSES	E. ALPAY, C. N. KENNEY and D. M. SCOTT Department of Chemical Engineering, University of Cambridge, Pembroke Street, Cambridge 4 March 1993.
6	Effect of bed void volume on pressure vacuum swing adsorption for air separation	Yo Han Kim, Dong Geun Lee, Dong Kyu Moon, Sang-Hoon Byeon, Hyung Woong Ahn, and Chang Ha Lee ,Korea 4 October 2013.
7	Comparison of Radial- and Axial-Flow Rapid Pressure Swing Adsorption Processes	Wen-Chun Huang, Cheng-tung Chou Taiwan,2003.
8	Simulation based synthesis, design and optimization of pressure swing adsorption (PSA) processes	R. Rajasree , A.S. Moharir,India, 7 July 2000.
9	Simulation of breakthrough curves and a pressure swing adsorption process of air separation	Anthony Shiaw-Tseh Chiang.Taiwan,January 1992.
10	COMPARISON OF TWO PRESSURE SWING ADSORPTION PROCESSES FOR AIR SEPARATION USING ZEOLITE 5A AND ZEOLITE 13X	Masoud Mofarahi, Ehsan Javadi Shokroo, August 15, 2013.
11	Comparison of the Adsorption Dynamics of Air on Zeolite 5A and Carbon Molecular Sieve Beds	Jeong-Geun Jee, Sang-Jin Lee and Chang-Ha Lee ,8 July 2004.
12	On the Effect of Axial Dispersion in the Numerical Simulation of Fast Cycling Adsorption Processes	C. Y. SOO, Y. L. LAI, T. G. CHUAH, S. MUSTAPHA & T. S. Y. CHOONG5,Malaysia.2005.
13	Comparative study of zeolite 5A and zeolite 13X in air separation by pressure swing adsorption	Ehsan Javadi Shokroo, Danial Jafari Farsani, Hadiseh Khalilpour Meymandi, and Nadia Yadollahi,Iran,6 November 2015.
14	Parametric studies and simulation of PSA process for oxygen production from air	Ankit K. Beeyani, Kailash Singh, Raj K. Vyasa, Shashi Kumar, Surendra Kumar,India,2010.
15	Parametric studies and simulation of PSA process for oxygen production from air	Ankit K. Beeyani, Kailash Singh, Raj K. Vyasa, Shashi Kumar, Surendra Kumar,India,2010.