

*Metodología para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido en el proceso de secado. Caso secado de tomate*

I.Q. María Fernanda Serrano Caldera



Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Departamento de Procesos y Energía  
Medellí, Colombia  
2021

*Metodología para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido en el proceso de secado. Caso secado de tomate*

I.Q. María Fernanda Serrano Caldera

Tesis presentada como requisito para optar al título de:  
Magister en Ingeniería Química

Director:  
Ph.D., M.Sc., I.Q. Hernán Álvarez Zapata



Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Departamento de Procesos y Energía  
Medellín, Colombia

2021

A mis padres, Carmenza  
y Jairo. Por su amor y  
ejemplo, infinitas gracias.

# Agradecimientos

A mi director Hernán Alvarez, por brindarme su conocimiento y experiencia para realizar esta investigación. Su apoyo, paciencia y calidad humana fueron fundamentales para culminarla exitosamente. Gracias por ser un guía en mi formación de pregrado y posgrado. Es mi modelo a seguir del tipo de profesional que quiero ser.

Al profesor Bibian Hoyos, su experiencia, conocimientos y consejos me acompañaron a lo largo de este camino y me permitieron crecer profesional y personalmente.

A las estudiantes de pregrado, Valentina Paredes y Yuliana Montoya, cuyos aportes hicieron posible la construcción del modelo aquí presentado. A los estudiantes del curso Laboratorio de Operaciones de Transferencia y Control de Procesos de los semestres 2019-II y 2020-II por aportar datos que sustentan los resultados de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Colombia, mi alma mater, por poner a mi disposición sus instalaciones y recurso humano para desarrollar esta tesis. Adicionalmente, por haberme brindando la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, como investigadora y docente en este tiempo.

Por último y no menos importante, a mis padres por apoyarme y motivarme a alcanzar todas mis metas. A mis hermanas Luiselena y Carolina, a mis amigos, Juan Carlos, Cristina, Mariangélica, Jennifer, Melissa y Paola, cuyo apoyo y amor incondicional fueron mi soporte a lo largo de este proyecto que hoy culmina satisfactoriamente. *"Thank you for making me better"*.

---

---

# Índice general

---

---

Agradecimientos	4
Índice general	I
Índice de figuras	V
Resumen	1
Abstract	3
<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Secado de sólidos</b>	<b>9</b>
2.1. Curva de secado . . . . .	11
2.2. Cinética de secado: curva de velocidad de secado . . . . .	12
2.3. Análisis por cinética de secado <i>vs.</i> análisis del fenómeno de secado . .	13
2.4. Curva de Distribución de Equilibrio (CDE) en el proceso de secado . .	14
2.5. Equilibrio y línea de operación . . . . .	15
2.6. Diferencia entre coeficiente local y englobante . . . . .	17
2.6.1. Coeficiente locales . . . . .	18
2.6.2. Coeficientes locales englobantes . . . . .	19
<b>3. Secado de tomate en rodajas</b>	<b>21</b>
3.1. Montaje experimental . . . . .	21
3.1.1. Preparación del sólido . . . . .	21
3.1.2. Preparación y arranque del secador . . . . .	22
3.1.3. Determinación de peso seco . . . . .	23

3.2. Plan experimental . . . . .	24
3.3. Resultados experimentales . . . . .	25
3.4. Tratamiento de datos . . . . .	26
3.4.1. Datos crudos . . . . .	26
3.4.2. Cálculo de fracción de humedades en base seca para aire y sólido $Y_w$ y $Z_w$ . . . . .	26
3.4.2.1. Fracción de humedad de aire en base seca $Y_w$ . . . . .	27
3.4.2.2. Fracción másica de humedad del sólido en base seca $Z_w$ . . . . .	28
3.4.3. Cálculo de la Curva de Distribución de Equilibrio (CDE) . . . . .	29
3.4.4. Determinación de la humedad crítica . . . . .	29
3.4.5. Construcción de líneas de operación . . . . .	31
<b>4. Modelo semifísico de base fenomenológica para el secado de tomate en bandejas</b> . . . . .	<b>35</b>
4.1. Descripción del proceso . . . . .	35
4.2. Hipótesis de modelado . . . . .	36
4.3. Definición de los sistemas de proceso . . . . .	37
4.4. Aplicación de la Ley de conservación . . . . .	37
4.4.1. Sistema de Proceso aire $SdeP_I$ . . . . .	37
4.4.2. Sistema de Proceso sólido $SdeP_{II}$ . . . . .	39
4.5. Determinación de la estructura básica del modelo . . . . .	41
4.6. Reconocimiento y acotamiento de variables, parámetros estructurales y constantes . . . . .	41
4.7. Propuesta de ecuaciones constitutivas y de valoración . . . . .	43
4.7.1. Flujo másico de aire húmedo . . . . .	43
4.7.2. Flujo másico de agua transferido . . . . .	44
4.7.3. Fracción másica de humedad de aire en base seca . . . . .	50
4.7.4. Flujo másico de aire seco . . . . .	50
4.7.5. Masa de aire seco en $SdeP_I$ . . . . .	51
4.7.6. Masa de aire húmedo en $SdeP_I$ . . . . .	51
4.7.7. Masa de sólido seco en $SdeP_{II}$ . . . . .	51
4.7.8. Calor transferido entre el aire y el sólido . . . . .	52
4.7.9. Calor transferido entre el aire de secado y los alrededores . . . . .	53
4.7.10. Entalpía de vaporización . . . . .	55

<b>5. Metodología para la formulación del coeficiente local de TdeM del sólido</b>	<b>57</b>
5.1. Metodología propuesta para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa . . . . .	57
5.2. Aplicación de metodología al secado de tomate . . . . .	58
5.2.1. Cálculo experimental del coeficiente local de transferencia de masa del sólido $k_z$ . . . . .	58
5.2.2. Formulación del coeficiente aplicando el teorema $\pi$ -Buckingham	60
5.2.3. Identificación de los parámetros obtenidos en la formulación usando números adimensionales . . . . .	62
5.2.4. Validación de la formulación en MSBF del proceso de secado .	62
5.3. Resultados de la aplicación de la metodología al secado de tomate . . .	63
5.3.1. Cálculo experimental del coeficiente local de transferencia de masa del sólido $k_z$ . . . . .	63
5.3.2. Formulación del coeficiente aplicando el teorema $\pi$ -Buckingham	65
5.3.3. Identificación de los parámetros obtenidos en la formulación usando números adimensionales . . . . .	66
5.3.4. Validación de la formulación en MSBF del proceso de secado .	70
<b>6. Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>75</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	75
6.2. Trabajos futuros . . . . .	76
<b>Bibliografía</b>	<b>77</b>
<b>Corridas experimentales</b>	<b>81</b>
<b>Anexos Datos para calcular el espesor de rodaja de tomate.</b>	<b>149</b>





---

---

## Índice de figuras

---

---

2.1. Curva de secado genérica. Tomada de (Seader et al., 2010) . . . . .	11
2.2. Curva de velocidad de secado genérica. Tomada de (Seader et al., 2010)	12
2.3. Isoterma de sorción para tomate en rodajas. Tomada de (Belghith et al.,2016) . . . . .	14
2.4. Ilustración de los tramos de línea de operación en el proceso de secado.	16
2.5. Construcción geométrica que permite la deducción de los coeficientes englobantes de las fases. . . . .	20
3.1. Secador de bandejas instalado en laboratorio. . . . .	22
3.2. Tomates frescos usados en los ensayos de secado de laboratorio. . . . .	22
3.3. Tomates en la bandeja 2 previo a secado, al lado izquierdo y tras el secado, lado derecho. . . . .	23
3.4. Humedad absoluta de entrada y salida del aire de secado para cada conjunto de datos experimentales disponibles. . . . .	27
3.5. Contenido de humedad del sólido en base seca para cada conjunto de datos, ajustada con el modelo de Page desde los datos experimentales.	28
3.6. Isotermas de sorción para tomate a diferentes temperaturas usando el modelo de GAB. . . . .	29
3.7. Curva de distribución de equilibrio para el secado de tomate obtenidas desde las isotermas de sorción ajustadas con el modelo de GAB. . . . .	30
3.8. Flux de secado para los diferentes conjuntos de datos experimentales.	31
3.9. Valores de humedades del aire de operación para el conjunto de datos experimentales 3. . . . .	32
3.10. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 3. . . . .	32
3.11. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 1. . . . .	33

3.12. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 2. . . . .	33
3.13. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 4. . . . .	34
4.1. Diagrama de bloques de los sistemas de proceso. . . . .	37
5.1. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido obtenido en proceso iterativo. . . . .	63
5.2. Comparación entre el flux másico de transferencia de humedad experimental y el obtenido con el proceso iterativo. . . . .	64
5.3. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido real y estimado para el conjunto de datos 3. . . . .	67
5.4. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de $k_Z$ propuesta. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 1. . . . .	68
5.5. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de $k_Z$ propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 2. . . . .	68
5.6. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de $k_Z$ propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 3. . . . .	69
5.7. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de $k_Z$ propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 4. . . . .	69
5.8. Cambio en el tiempo de la fracción de humedad del sólido durante todo el secado. . . . .	71
5.9. Evolución de la fracción de humedad del aire de salida durante todo el secado. . . . .	72
5.10. Cambio de la temperatura del aire de salida durante el secado. . . . .	72
5.11. Resultados del modelo para conjunto de datos 5. Contenido de humedad en base seca de sólido, primera. Contenido de humedad en base seca del aire, segunda. Temperatura de salida del aire, tercera. . . . .	73

---

---

# Resumen

---

---

El secado es una operación unitaria crítica en términos de consumo de energía y calidad del producto. La operación de secado consiste en retirar una fase líquida, como humedad, desde una fase sólida o líquida, por mecanismos de transferencia de energía y masa. A través del secado, en particular de alimentos, se logra prolongar la vida útil del producto al reducir su contenido de humedad, lo cual provoca cambios en propiedades físicas y sensoriales del producto.

En general, la descripción del secado de sólidos encontrados en la literatura, se limita a modelos particulares del sólido que se seca. En estos modelos se calcula la cinética de secado desde una curva de cambio de peso con el tiempo para determinar puntos de operación. Sin embargo, la operación de secado puede ser descrita a través de modelos de base fenomenológica que utilizan coeficientes de transferencia de calor y masa para representar el proceso. Una de las limitantes en la construcción de modelos de base fenomenológica para el proceso de secado está dada por la falta de expresiones generales que reproduzcan el comportamiento del coeficiente local de transferencia de masa del sólido,  $k_z$ , que representa la oposición de transferir el vapor de agua en el aire de los poros hacia el aire de secado por causa de la estructura porosa de sólido. La falta de una expresión para el coeficiente  $k_z$ , no permite analizar la fenomenología de la transferencia de masa en el proceso de secado.

Como resultado del trabajo de investigación, se propone una metodología para la formulación, basada en números adimensionales, del coeficiente local de transferencia de masa en la fase sólida para el proceso de secado. Particularmente, se aplica dicha metodología en el secado de tomate en rodajas, calculando dicho coeficiente a partir de datos experimentales para luego obtener una expresión del coeficiente local de transferencia de masa en la fase sólida  $k_z$ , verificada a partir del teorema  $\pi$ -Buckingham, relacionando propiedades que dependen del contenido de humedad del sólido. Finalmente, se valida la formulación obtenida incluyéndola en el cálculo de transferencia de masa de un Modelo Semifísico de Base Fenomenológica desarrollado en esta tesis para el proceso de secado, obteniéndose un buen ajuste entre los datos experimentales y las predicciones del modelo.

**Palabras clave:** Secado de sólidos, transferencia de masa, coeficiente, modelado de procesos.



---

---

# Abstract

---

---

## **Methodology for the formulation of the local mass transfer coefficient of the solid in the drying process. Dried tomato case.**

Drying is a critical unit operation in terms of energy consumption and product quality. The drying operation consists of removing a liquid phase, such as moisture, from a solid or liquid phase, by means of energy and mass transfer mechanisms. Through drying, particularly of food, it is possible to extend the useful life of the product by reducing its moisture content, which causes changes in the physical and sensory properties of the product.

In general, the description of the drying of solids found in the literature is limited to particular models of the solid being dried. In these models, the drying kinetics are calculated from a curve of weight change with time to determine the operating points. However, the drying operation can be described through phenomenologically based models that use heat and mass transfer coefficients to represent the process. One of the limitations in the construction of phenomenological-based models for the drying process is given by the lack of general expressions that reproduce the behavior of the local mass transfer coefficient of the solid,  $k_z$ , which represents the opposition of transferring the vapor of water in the air from the pores to the drying air because of the solid porous structure. The lack of an expression for the coefficient  $k_z$  does not allow us to analyze the phenomenology of mass transfer in the drying process.

As a result of the research work, a methodology is proposed for the formulation, based on dimensionless numbers, of the local mass transfer coefficient in the solid phase for the drying process. In particular, said methodology is applied in the drying of sliced tomato, calculating said coefficient from experimental data to then obtain an expression of the local mass transfer coefficient in the solid phase  $k_z$ , verified from the  $\Pi$  - Buckingham theorem, relating properties that depend on the moisture content of the solid. Finally, the obtained formulation is validated by including it in the mass transfer calculation of a Phenomenologically Based Semi-Physical Model developed in this thesis for the drying process, obtaining a good fit between the experimental data and the model predictions.

**Keywords:** Drying of solids, mass transfer, coefficient, process modelling.



# CAPÍTULO 1

---

---

## Introducción

---

---

El secado de sólidos es un proceso utilizado para la preservación de alimentos con alto contenido de humedad que pueden deteriorarse rápidamente, en especial si su transporte implica largos periodos de tiempo. El secado, al reducir el contenido de humedad, permite aumentar la vida útil del producto conservando los compuestos bioactivos y nutrientes. Adicionalmente, al reducir el peso y el volumen del producto se disminuyen los costos de empaque, almacenamiento y transporte. (Brooks et al., 2008; Kumar et al., 2021).

En ingeniería de procesos es común encontrar modelos matemáticos usados en el análisis de procesos, puesto que permiten deducir el comportamiento del proceso ante diversas situaciones, sin necesidad de realizar ensayos en la planta real. Este es frecuente en la solución de problemas de control, estimación de estados o escalado de procesos por lotes. Un modelo matemático se puede definir como *un conjunto de ecuaciones o inecuaciones que como un todo, son usadas para representar información sobre el comportamiento de al menos una característica de interés en el proceso* (Alvarez et al., 2009). Estos modelos tienen una estructura determinada que define la manera en la que se relacionan los términos del modelos. Los modelos matemáticos se pueden clasificar de acuerdo al origen de su estructura matemática como (Alvarez et al., 2009):

- *Modelos de caja blanca o fenomenológicos*: cuentan con un conocimiento completo del proceso y se deducen desde los principios de conservación (balances de materia, energía y momentum) y los principios de transporte o transferencia, es decir, dependen solo del conocimiento fenomenológico del proceso. En este tipo de modelos tanto la estructura como los parámetros son conocidos.
- *Modelos de caja negra o empíricos*: son modelos basados en el ajuste de datos experimentales tomados del proceso a modelar. La estructura matemática genérica usada en el ajuste de datos no necesariamente refleja la interacción interna de los fenómenos. Los modelos de caja negra se pueden clasificar a su vez en modelos paramétricos, en lo que solo se ajustan parámetros, y no

paramétricos, en los que el ajuste de datos varía tanto la estructura como los parámetros del modelo. Dentro de los modelos paramétricos se encuentran los autorregresivos (ARX, NARMAX, etc.), los modelos de carácter polinomial uni o multivariable y los modelos de estructura estándar. Los modelos que provienen de inteligencia artificial, como las redes neuronales artificiales (RNA) o los sistemas de inferencia borrosa (SIB), pertenecen a los modelos no paramétricos.

- *Modelos de caja gris o semifísicos*: combinan el entendimiento del proceso desde la abstracción matemática de los fenómenos y el uso de datos experimentales. Los modelos semifísicos de base fenomenológica tienen una estructura basada en la fenomenología del proceso y unos parámetros que son ajustados experimentalmente a partir de los datos disponibles, por lo que tienen buena interpretabilidad y capacidad de predecir comportamientos del proceso (Lema et al., 2019)

En el análisis del proceso de secado es común encontrar modelos matemáticos empíricos que representan la cinética de secado por medio del cálculo de la proporción de humedad, MR por sus siglas en inglés (*moisture ratio*), como función del tiempo (Arslan & Ozcan, 2011; Gaware et al., 2010; Lopez Vidana et al., 2019). Este parámetro es usado en el cálculo del coeficiente de difusividad efectiva, suponiendo que la transferencia de humedad se puede describir por medio de la ecuación de difusión de Fick. Sin embargo, estas ecuaciones empíricas no siempre representan bien los datos experimentales, además de generar un coeficiente de difusividad efectiva promedio para todo el proceso de secado bajo las condiciones particulares de operación (Arslan & Ozcan, 2011). Esta aproximación por medio de la cinética de secado no permite analizar los fenómenos de transferencia de calor y masa presentes durante el proceso.

Por otro lado, también se encuentran modelos semifísicos que han sido utilizados para diseñar sistemas de secado, para seleccionar condiciones de operación adecuadas y para predecir los fenómenos simultáneos de transferencia de calor y masa, buscando obtener productos de mayor calidad y ahorrar energía en los sistemas de secado. Los modelos para predecir la transferencia de masa y calor se han desarrollado en una (Tzempelikos et al., 2015), dos (Shashari et al., 2019) y tres (Ateeque et al., 2014) dimensiones, según la geometría de sólido y la dirección de la transferencia de calor y masa consideradas.

En la estructura de los modelos semifísicos se incluyen ecuaciones en términos de coeficientes para representar adecuadamente los efectos combinados de transferencia de calor y masa que se dan en el proceso de secado. Según las suposiciones bajo las que se plantea el modelo y los mecanismos de transferencia que se consideren presentes en el proceso, los coeficientes de transferencia de calor y masa pueden ser hallados de diferentes maneras. (Shashari et al., 2019; Ateeque et al., 2014; Esfahani et al., 2014; Barati & Esfahani, 2011a) han utilizado la analogía de transferencia de calor y masa en la capa límite para hallar el valor de los coeficientes de transferencia de masa convectivos. Las expresiones halladas están en función del número de Lewis,



$Le$ , y de propiedades como difusividad y conductividad térmica del aire. Esta analogía ha sido aplicada a modelos para representar la transferencia en una dimensión (Barati & Esfahani, 2011a), dos dimensiones (Esfahani et al., 2014) y tres dimensiones (Ateeque et al., 2014), obteniendo buen ajuste con los datos experimentales presentado en cada caso. (Oztop & Akpınar, 2008; Hussain & Dincer, 2003; Barati & Esfahani, 2011b; Wang & Brennan, 1995) reportan el uso de correlaciones basadas en números adimensionales como el número de Reynolds,  $Re$ , y Schmidt,  $Sc$ , entre otros, para calcular el coeficiente de transferencia de masa. A pesar de todo esto, las correlaciones utilizadas, solo son aplicables a las condiciones de operación particulares del proceso y al tipo de secador utilizado. Esto limita totalmente su uso, puesto que lo ideal es contar con una expresión general para hallar dichos coeficientes.

De lo anterior se puede notar que en las correlaciones o analogías empleadas para el cálculo de los coeficientes de transferencia de masa se llegan a expresiones que involucran números adimensionales. Las formulaciones normalmente vienen dadas de las analogías con transferencia de calor y de la simplificación de los mecanismos de transferencia de masa que se dan al interior del sólido. Estas suposiciones y simplificaciones no siempre son adecuadas para los casos estudiados, lo que puede afectar la precisión de las predicciones del modelo en el que son utilizados esos coeficientes (Defraeye, 2014).

Una alternativa para la formulación de coeficientes de transferencia es por medio del uso del teorema  $\pi$ -Buckingham cuyo éxito depende de la correcta selección de los parámetros que influyen en el problema (Wami & Onuigweze, 2014). Según el teorema, una cantidad de interés expresada en términos de determinadas variables puede ser redefinida como función de  $\Pi$  términos adimensionales independientes. El número de términos adimensionales es igual a la diferencia entre el número de variables y el número de dimensiones independientes involucradas (Zohuri, 2017). En la aplicación del teorema  $\pi$ -Buckingham es común encontrar problemas de identificación de parámetros en la formulación de los grupos adimensionales. Dentro de las múltiples estrategias para la identificación paramétrica se encuentra el algoritmo de optimización por quimiotaxis bacteriano. Los pasos del algoritmo son análogos a los desplazamientos que realizan las bacterias en un medio de concentración variable a lo largo de direcciones aleatorias, siguiendo aquellas trayectorias que conduzcan al lugar con mayor concentración (Alvarez, 2000).

Finalmente, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología para formular una expresión del coeficiente local de transferencia de masa del sólido, basado en números adimensionales pero calculados a partir de las relaciones de equilibrio entre el agua en el sólido y el vapor de agua en el aire de secado, haciendo uso de curvas de distribución de equilibrio (CDE) y datos experimentales. La metodología se aplica al secado de tomate en rodajas, pero a partir de ella es posible formular coeficientes locales de transferencia de masa para diferentes sólidos.



---

---

## Secado de sólidos

---

---

El secado de sólidos es una de las técnicas más antiguas y utilizadas en la preservación de alimentos. Su objetivo es aumentar la vida útil del producto al reducir el contenido de humedad y la actividad microbiológica (Qiu et al., 2015). El proceso de secado juega un papel importante en la calidad final del producto ya que las condiciones de operación pueden afectar las propiedades físicas del producto que se está secando (Colak et al., 2013). El proceso de secado implica la eliminación de humedad (vapor de agua o compuestos volátiles) de sólidos, soluciones, lodos y pastas, para obtener productos sólidos. El producto a secar puede ser un sólido húmedo, un líquido sobre superficie sólida o un sólido disuelto en solución (Seader et al., 2010). En particular, el sólido húmedo se considera formado por una matriz sólida porosa y una humedad retenida en dicha matriz. Según (Mujumdar, 2011), la matriz sólida se puede clasificar como:

- *Sólido no higroscópico poroso o capilar*: se caracterizan por tener una región porosa claramente reconocible. Por ser un material no higroscópico, la humedad adsorbida es despreciable y el sólido no se encoje durante el secado.
- *Sólido higroscópico poroso*: poseen una región porosa claramente identificable en la cual se encuentra gran cantidad de líquido adsorbido. Presentan encogimiento en las primeras etapas del secado.
- *Sólido coloidal no poroso*: en el cual todo el líquido está químicamente ligado y, al no tener poros, la evaporación solo sucede en la superficie externa del sólido.

Por su parte, el agua contenida dentro de la matriz sólida puede clasificarse de la siguiente manera:

- *Agua ligada*: también conocida como humedad fuertemente ligada. Es el agua con la unión energética más fuerte en la matriz sólida. Este tipo de agua no

se puede congelar y no está disponible para reacciones químicas. Incluye agua estructural y agua en monocapa, que es adsorbida por los grupos hidrofílicos y polares de la matriz sólida (Andrade et al., 2011).

- *Agua libre*: corresponde al agua que no está ligada químicamente a la matriz sólida o adsorbida en monocapa, por lo cual es susceptible de ser retirada en el proceso de secado (Alvarez, 2019). Puede ser de tres tipos:
  - *Agua adsorbida en multicapa*: está unida a la superficie de las paredes de los poros de la matriz sólida por fuerzas físicas. Cuando la adsorción se da en varias capas, el agua puede estar condensada dentro de los poros del sólido.
  - *Agua vaporizada*: también conocida como agua no ligada pues se encuentra como vapor al interior de los poros de la matriz sólida. Corresponde a la humedad de saturación del aire contenido en los poros a las condiciones internas de la matriz sólida.
  - *Agua de encharcamiento*: es el agua que empapa la superficie del sólido expuesta al aire. Se presenta solo al arranque del secado y es una humedad que se retira por evaporación desde esa superficie.

La operación de secado implica vaporización de la humedad del sólido como resultado de la transferencia de calor al interior del material a secar y la migración de esa humedad al aire de secado. La transferencia de calor se puede dar por los siguientes mecanismos (Seader et al., 2010).

1. Convección por contacto con gas caliente.
2. Conducción por contacto con superficie caliente.
3. Radiación desde un gas o superficie caliente.
4. Generación de calor dentro del material usando radio frecuencias o microondas.

La transferencia de masa se produce cuando ya se ha evaporado toda la humedad superficial. Esto ocurre porque durante este periodo del secado, el sólido húmedo expuesto a un suministro continuo de gas insaturado, pierde humedad hasta que la presión de vapor de la humedad en el interior de los poros del sólido es igual a la presión parcial del vapor en el gas. Es este punto se dice que el sólido y el gas están en equilibrio, por lo que una mayor exposición al aire por periodos indefinidos de tiempo, no provocará ninguna pérdida adicional de humedad del sólido (Martinez de la Cuesta & Ruz Martinez, 2004; Alvarez, 2019).

## 2.1. Curva de secado

En el análisis del proceso de secado es común encontrar una curva de secado como la mostrada en la Figura 2.1. Esta curva relaciona la disminución en la fracción de humedad de sólido como función del tiempo. La curva de secado puede construirse directamente de los datos experimentales si se cuenta con el peso del sólido en cada tiempo de muestreo (Martinez de la Cuesta & Ruz Martinez, 2004). Sin embargo, en la práctica es posible que falten datos en ciertos intervalos de tiempo, que hayan datos espurios o que el ruido de medición se refleje en oscilaciones de los datos. Esto puede causar sensibilidad a la hora de calcular los cambios en la humedad del sólido. Para compensar la alteración de los datos y filtrar el ruido de medición, se utilizan modelos empíricos para esta curva, modelos que ajusten y representen los datos adecuadamente (Onwude et al., 2016).

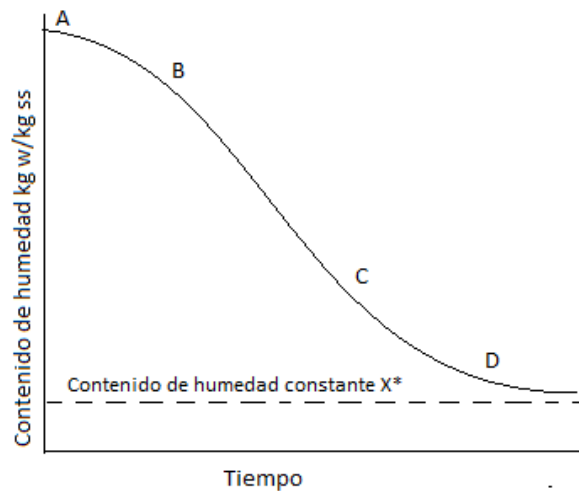


FIGURA 2.1. Curva de secado genérica. Tomada de (Seader et al., 2010)

Algunos de los modelos más utilizados para describir la curva de secado se presentan en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1. Modelos empíricos para describir la cinética o curva de secado.

Modelo	Expresión	Referencia
Page	$MR = a e^{-at^b}$	(Demiray & Tuleh, 2012)
Lewis	$MR = e^{-at}$	(Demiray & Tuleh, 2012)
Peleg	$MR = 1 - \frac{t}{a + bt}$	(da Silva et al., 2014)
Silva	$MR = e^{-at - b\sqrt{t}}$	(Silva et al., 2012)

En estas expresiones, la proporción de humedad,  $MR$  (moisture ratio), se define usando las fracciones de humedad en base seca: en el equilibrio a las condiciones

actuales de secado ( $Z_w^{cas}$ ), en el tiempo actual ( $Z_w(t)$ ), y en el tiempo inicial ( $Z_w(t_0)$ ), y se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$MR = \frac{Z_w(t) - Z_w^{cas}}{Z_w(t_0) - Z_w^{cas}} \quad (2.1)$$

La fracción másica de humedad de equilibrio a las condiciones actuales de secado,  $Z_w^{cas}$  se refiere al valor de humedad que alcanza el sólido en contacto con el aire de secado en un tiempo suficientemente largo para que la humedad del sólido no cambie más. Este valor se puede hallar a partir de una curva de distribución de equilibrio, CDE, entre el sólido y el aire a las condiciones de temperatura, presión y humedad a la que entra el aire al secador. (Onwude et al., 2016).

Volviendo a la ecuación 2.1, se observa que con los modelos empíricos se calcula la proporción de humedad,  $MR$ , a partir de la cual se puede hallar el valor de la fracción másica de humedad del sólido, o humedad en base seca de sólido, estimada por el modelo, pues los valores de  $Z_w(t_0)$  y  $Z_w^{cas}$  son parámetros constantes para las condiciones de cada secado en particular. Sin embargo, esto no explica qué está pasando desde el punto de vista fenomenológico, y por lo tanto, no permite generalizar ese resultado. Esto es muy importante, puesto que al no ser generalizables, las curvas de secado solo se pueden usar para ese producto específico y a las condiciones que se tuvieron en el secador durante el ensayo.

## 2.2. Cinética de secado: curva de velocidad de secado

El comportamiento del secado se registra midiendo los cambios de peso que sufre el sólido durante el tiempo que toma secarlo hasta que alcanza el equilibrio. Las curvas de secado representan gráficamente este comportamiento. Adicionalmente, esas curvas de velocidad de secado, por otra parte, permiten identificar los periodos de secado del sólido. En la Figura 2.2 se muestran los periodos observados para una curva de velocidad de secado genérica.

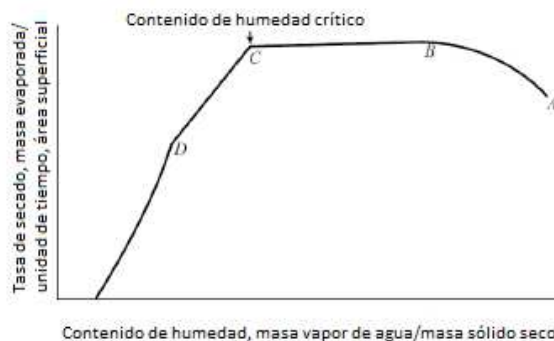


FIGURA 2.2. Curva de velocidad de secado genérica. Tomada de (Seader et al., 2010)

Los periodos del secado de un sólido se describen con algún detalle a continuación:

- *Aclimatación o atemperado del sólido, región A – B*: se da cuando el sólido entra a temperatura menor a la del aire de secado. Esta zona se prolonga hasta que el sólido alcanza el equilibrio térmico con el aire caliente. Otros autores mencionan también el caso en el que el sólido entra a temperatura mayor que la del aire. En ese caso la curva desciende en vez de ascender.
- *Secado a flux constante: región B – C*: en esta etapa se retira el agua que se encuentra en la superficie del sólido (agua de encharcamiento), hasta alcanzar su humedad crítica. Este proceso de evaporación se da por efectos de transferencia de calor entre el sólido y el aire circundante, y es caracterizado por tener una velocidad de secado constante.
- *Secado a velocidad decreciente, región C – D*: se caracteriza por un flux de secado cada vez menor ya que se está retirando la humedad libre contenida en los poros del sólido. Esta etapa se prolonga hasta que el sólido alcanza la humedad de equilibrio con el aire a las condiciones del secador. En esta etapa se dan efectos combinados de transferencia de calor y masa. Después del punto D pueden existir cambios en la curvatura debidos a la contracción del sólido, pero sigue la característica de secado a velocidad descendiente.

## 2.3. Análisis por cinética de secado vs. análisis del fenómeno de secado

Las curvas de secado y de velocidad de secado presentadas anteriormente, permiten analizar el proceso para encontrar cinéticas de secado que son claves para determinar condiciones de operación, para el diseño básico de equipos de secado y para lograr alguna mejora de la calidad del producto. Sin embargo, la cinética de secado encontrada solo aplica para el sólido y las condiciones de operación particulares, más no permiten entender o diferenciar los fenómenos de transferencia de calor y masa involucrados en el proceso de secado. Adicionalmente, los modelos de cinética de secado solo son adecuados para sólidos en capas delgadas, aunque es posible usarlos para modelar el secado de sólidos en capas gruesas mediante la división del sólido en varias capas delgadas y el uso de submodelos para cada capa (Onwude et al., 2016; Arslan & Ozcan, 2011; Gaware et al., 2010).

Si se quieren analizar correctamente los fenómenos presentes en el proceso de secado es mejor utilizar un modelo semifísico de base fenomenológica (MSBF), en el cual se cuantifican los fenómenos por medio de coeficientes de transferencia de calor y masa. La estructura de estos modelos permite su generalización a diferentes sólidos y condiciones de operación. En el Capítulo 4 se expone en detalle el modelo semifísico de base fenomenológica propuesto para el proceso de secado.

## 2.4. Curva de Distribución de Equilibrio (CDE) en el proceso de secado

Para estudiar el fenómeno de transferencia de masa es necesario conocer las concentraciones del soluto de interés en las dos fases en equilibrio, como función de la presión y la temperatura de operación (Seader et al., 2010). Dichas concentraciones pueden encontrarse en un diagrama conocido como Curva de Distribución de Equilibrio (CDE), en el que cada punto de la curva representa una condición de equilibrio para las fases en contacto. En particular, en el proceso de secado es común contar con gráficas de isoterma de sorción para el sólido como la mostrada en la Figura 2.3, la cual representa la relación entre la actividad del agua  $a_w$  y el contenido de humedad de un sólido en base seca  $Z_w$ , a temperatura constante (Belghith et al., 2016).

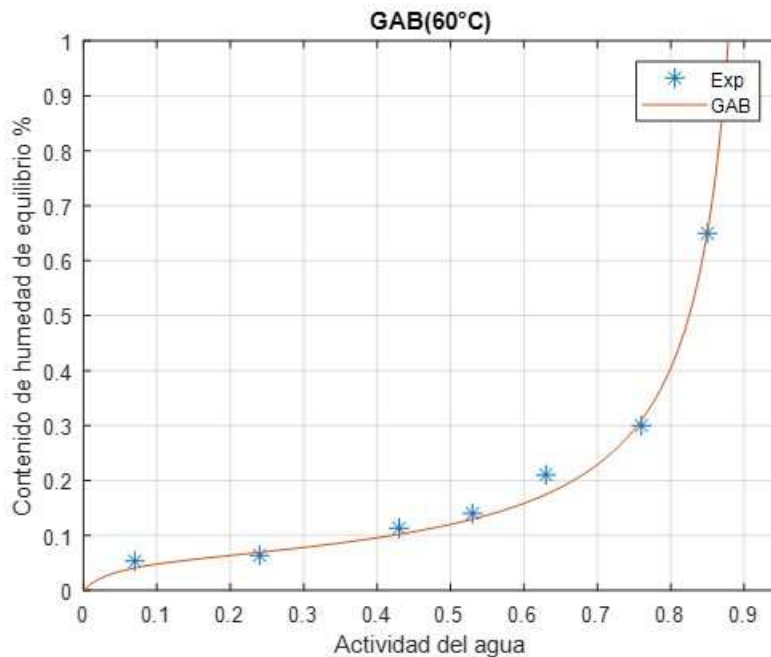


FIGURA 2.3. Isoterma de sorción para tomate en rodajas. Tomada de (Belghith et al., 2016)

En el proceso de secado, la actividad del agua  $a_w$  no es considerada unidad de concentración. Sin embargo,  $a_w$  se puede interpretar como la humedad en el aire dentro de los poros del sólido que, bajo condiciones de equilibrio sólido-gas, es igual a la humedad en el aire de la capa límite que rodea al sólido. Realizando la conversión adecuada es posible relacionar  $a_w$  con la humedad absoluta del aire, que es considerada unidad de concentración en el proceso de secado. Por lo tanto, a partir de una isoterma de sorción del sólido se puede construir la CDE que tiene en el eje  $x$  la fracción de humedad del aire en base seca  $Y_w$  y en el eje  $y$  la fracción de humedad del sólido en base seca  $Z_w$ . La conversión de  $a_w$  en  $Y_w$  se hace teniendo en cuenta la relación matemática de la actividad de agua con el porcentaje de humedad relativa  $\%HR$ . La humedad absoluta del aire se calcula como



$$Y_w = \frac{\mathfrak{M}_{agua}}{\mathfrak{M}_{aire}} \frac{P_{v\,agua}}{P - P_{v\,agua}} \quad (2.2)$$

En esta última,  $\mathfrak{M}_{agua}$  y  $\mathfrak{M}_{aire}$  son el peso molecular del agua y aire, respectivamente.  $P$  es la presión total del sistema y  $P_{v\,agua}$  se refiere a la presión de vapor del agua. La presión de vapor se calcula como:

$$P_{v\,agua} = P_{sat\,T} \frac{\%HR}{100} \quad (2.3)$$

en la cual

$$\%HR = 100 * a_w \quad (2.4)$$

Por su parte, la presión de saturación del agua se calcula según la ecuación de Antoine.

$$P_{sat\,T} = \exp\left(a - \frac{b}{T + c}\right) \quad (2.5)$$

el la que  $a = 16.3872$ ,  $b = 3885.7$   $c = 230.17$  con  $P$  en  $kPa$  y  $T$  en  $^{\circ}C$  (Poling et al., 2001). Al igual que para las curvas de secado, existen modelos matemáticos para predecir las características de sorción de diferentes alimentos (Velásquez et al., 2021; Getahun et al., 2020; Belghith et al., 2016). Dentro de los modelos más utilizados se encuentra el modelo de Guggenheim-Anderson-de-Boer o modelo de GAB, formulado como:

$$X_{eq}^* = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (2.6)$$

en el cual  $X_{eq}^*$  representa la fracción de humedad en base seca de sólido en equilibrio con el aire a las condiciones de operación. Para la nomenclatura utilizada en este documento,  $X_{eq}^*$  corresponde a  $Z_w^{cas}$  o  $Z_w^*$ . Por su parte,  $X_m$ ,  $C$ ,  $K$  son constantes propias del modelo de sorción y sus valores dependen del material a secar, temperatura y presión de operación (Vega et al., 2008; Kiranoudis et al., 1993; Viswanathan et al., 2003)

## 2.5. Equilibrio y línea de operación

Una vez se tiene la CDE en las unidades adecuadas, es posible analizar el proceso de secado desde la transferencia de calor y masa por medio del trazo de líneas de operación como se observa en la Figura 2.4. En términos generales, esta gráfica permite separar las etapas de velocidad de secado constante y de velocidad de secado decreciente mediante la ubicación de la humedad crítica en el eje  $y$ . Las líneas de

operación, que van desde el punto 1 a 1' y de 1' a 2 en la figura, corresponden a un proceso de semilote. Cada uno de estos dos tramos corresponden, en su orden, al secado por evaporación del agua de encharcamiento, tramo 1 a 1', y al secado por transferencia de calor y masa, tramo 1' a 2. Son líneas rectas puesto que las unidades de la CDE donde se trazaron son unidades respecto de los solventes puros de las fases, es decir, con unidades de concentración en base seca (Alvarez, 2019). Para el proceso de secado, la línea de operación se toma como la unión de los valores medios entre la humedad de entrada y salida del aire en cada instante de tiempo. Como por lo general la señal que entrega el SCADA de un secador es muy ruidosa, se toman rectas siguiendo la tendencia.

Como ya se ha mencionado, en el análisis de transferencia de masa es necesario conocer las concentraciones en equilibrio del soluto en las fases en contacto. En el proceso de secado el punto equilibrio para cada instante de tiempo corresponde al punto sobre la CDE que se intercepta con la línea de fuerza impulsora, líneas de color verde en la Figura 2.4. Este punto de equilibrio corresponde a la humedad que tendrían el aire y sólido si estuvieran en contacto por mucho tiempo y sin renovar ninguna de las fases. El uso de las concentraciones en equilibrio para realizar cálculos de transferencia de masa se explicará más adelante.

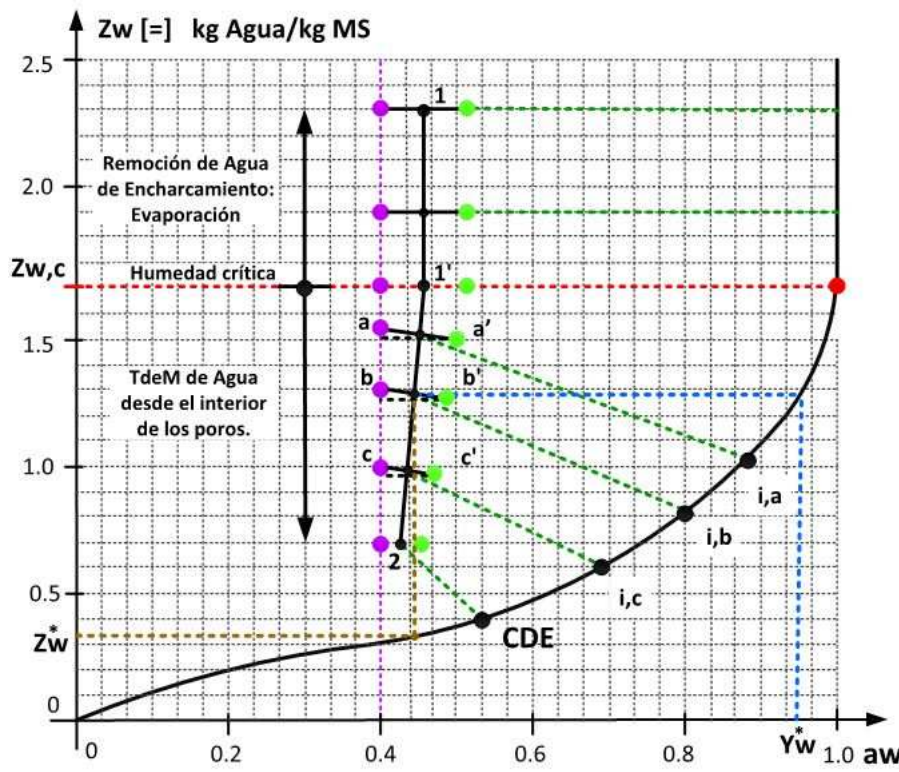


FIGURA 2.4. Ilustración de los tramos de línea de operación en el proceso de secado.

## 2.6. Diferencia entre coeficiente local y englobante

La transferencia de masa se refiere al movimiento neto de una sustancia atravesando un área perpendicular al sentido del flujo neto *Seader2010*. Esta transferencia requiere la presencia de dos regiones con valores de potencial químico diferentes. La fuerza impulsora primaria para la transferencia de masa es el potencial químico que, en condiciones constantes de temperatura y presión, queda representado por la concentración. El movimiento de la sustancia A se da desde una región de alta concentración hacia una de menor concentración (Cengel & Ghajar, 2011). Los principales mecanismos por los cuales hay de transferencia de masa son:

- *Difusión molecular*, causada por la diferencia de potencial químico de una sustancia entre dos puntos de una fase.
- *Convección forzada*, causada por la fuerzas externas como los diferenciales de presión de efecto mesoscópico.
- *Transporte o conveyance*, que se da a escala mesoscópica pero es afectado por el flujo en bulto macroscópico.

El flux total  $N_A$  o  $M_A$  es la cantidad específica de sustancia A [mol o kg] que atraviesa una unidad de área en una unidad de tiempo, como resultado de la combinación de los mecanismos de transferencia de masa mencionados. El flux total depende del tipo de movimientos que tengan las sustancias involucradas en la transferencia de masa dentro de cada fase. En el caso de un sistema binario, el tipo de movimiento de las sustancias A y B puede ser: *i)* A y B moviéndose en cualquier proporción molar y en cualquier sentido, *ii)* A y B en movimiento contrario pero equimolar y *iii)* A moviéndose en B que no se mueve. La expresión matemática para hallar el flux en función de los tres mecanismos de transferencia de masa y los posibles movimientos de las sustancias involucradas, implica términos que son difíciles de calcular como la difusividad aparente,  $\mathfrak{D}_{A-B}^{app}$ , por lo que se emplean términos más fáciles de calcular, llamados coeficientes locales de transferencia de masa (Treybal, 1989; Alvarez, 2019).

En los coeficientes de transferencia de masa, los tres mecanismos mencionados se integran en un solo efecto, permitiendo calcular el flux total de la sustancia A de la siguiente manera:

$$N_A = \text{Coeficiente} * \text{Diferencia de Concentraciones} \quad (2.7)$$

Un coeficiente de transferencia de masa es una expresión que depende de la difusividad aparente,  $\mathfrak{D}_{A-B}^{app}$ , pero puede ser calculado por otros medios como:

- Datos experimentales tomados desde el sistema real a las condiciones particulares de operación.
- A través de correlaciones empíricas válidas para la condición del proceso (Oztop & Akpinar, 2008; Barati & Esfahani, 2011b).

- Por analogía con la transferencia de calor para una condición similar a la dada en el proceso (Shashari et al., 2019; Ateeque et al., 2014).

### 2.6.1. Coeficiente locales

Los coeficientes locales solo aplican a una fase y dependen de los valores de propiedades del fluido en un punto, propiedades que pueden cambiar al interior del equipo en el que se da la transferencia de masa y durante el tiempo del proceso. Los coeficientes se pueden clasificar según el tipo de interacciones en las que ocurre la transferencia de masa de la siguiente manera (Treybal, 1989; Alvarez, 2019):

- *Coeficiente tipo F local general.* Este coeficiente es aplicable para las tres condiciones posibles de transferencia de masa: *i)* A y B moviéndose en cualquier proporción molar y en cualquier sentido, *ii)* A y B en movimiento contrario pero equimolar y *iii)* A moviéndose en B que no se mueve. A pesar de existir una expresión para calcular F:

$$F = \frac{C * \mathcal{D}_{A-B}^{app}}{z} \quad (2.8)$$

en la que  $C$  es la concentración total de la fase y  $z$  es el recorrido que hace el soluto A por transferencia de masa en la fase, usualmente, se halla su valor a partir de correlaciones de números adimensionales y no mediante la expresión 2.8, excepto en casos particulares.

- *Coeficiente tipo k.* Se utiliza en los casos en que la sustancia A se está moviendo en un medio formado por la sustancia B, que no se mueve. Este coeficiente está dado por la expresión:

$$k = \frac{C * \mathcal{D}_{A-B}^{app}}{z * x_{B,M}} \quad (2.9)$$

en la cual  $x_{B,M}$  es la diferencia media logarítmica de concentraciones del solvente B en la fase.

- *Coeficiente tipo k'.* Aplica en los casos en que las sustancias A y B se mueven en sentido contrario en proporción equimolar. Se puede expresar como:

$$k' = \frac{C * \mathcal{D}_{A-B}^{app}}{z} \quad (2.10)$$

Las expresiones para  $k$  y  $k'$  se usan poco para calcular el valor del coeficiente, excepto en casos particulares en los que la difusividad aparente y la longitud recorrida por A se puedan estimar o aproximar con una precisión aceptable.

### 2.6.2. Coeficientes locales englobantes

Los coeficientes englobantes permiten cuantificar la transferencia de masa interfacial. Están basados en los coeficientes locales de cada fase pero a su vez utilizan una expresión para la fuerza impulsora que considera la concentración del soluto A en el bulto de cada fase y la concentración de A que estaría en equilibrio entre fases bajo una condición de no interferencia de una fase sobre la otra (Seader et al., 2010; Alvarez, 2019). Su cálculo depende de los coeficientes locales en cada fase. La expresión general del flux másico,  $M_A$ , utilizando los coeficiente globales es (Martinez de la Cuesta & Ruz Martinez, 2004; Seader et al., 2010):

$$M_A = K_i * (Z_{A,bulk} - Z_A^*) \quad (2.11)$$

en la cual  $K_i$  representa el coeficiente local englobante de la fase,  $Z_{A,bulk}$  es la concentración del soluto A en el bulto de la fase y  $Z_A^*$  indica concentración de equilibrio proyectada en esa fase, es decir, la concentración que tendría la sustancia A si estuviera en equilibrio con la otra fase a las condiciones de T y P en la que la otra fase no interfiera en la transferencia de masa. Los valores de  $Z_A^*$  pueden hallarse a partir de la curva de distribución de equilibrio para las fases en contacto a partir de un simple trazo paralelo al otro eje desde el punto actual de operación.

En el sentido práctico, el valor del coeficiente englobante  $K_i$  se puede despejar de la ecuación 2.11 contando con valores experimentales del flux y concentraciones en cada paso de tiempo. A partir del valor hallado, y considerando que el flux total  $M_A$  debe ser igual en ambas fases para cualquier sustancia A contenida en ellas, se pueden establecer relaciones matemáticas entre los coeficientes locales y englobantes a partir de las condiciones de equilibrio del sistema (Alvarez, 2019).

En la Figura 2.5 se observa una curva de distribución de equilibrio para las fases en contacto, en este caso sólida (representada por  $z$ ) y gaseosa (representada por  $y$ ). En esta figura la pendiente  $m = \frac{-k_z}{k_y}$  corresponde a la línea recta que conecta el punto de concentraciones en el bulto (P) con el punto correspondiente de concentraciones en la interfase (M). Esa recta es la línea de fuerza impulsora. A partir de relaciones geométricas realizadas en gráficas como la Figura 2.5 y utilizando la ecuación del flux, ecuación 2.11, es posible obtener expresiones que relacionen los coeficientes locales con los englobantes. Por ejemplo, las ecuaciones 2.12 y 2.13 para el cálculo del coeficientes locales englobantes de la fases sólida y gaseosa, respectivamente.

$$\frac{1}{K_z} = \frac{1}{k_z} + m' \frac{1}{k_z} \quad (2.12)$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{m'' k_z} + \frac{1}{k_y} \quad (2.13)$$

En estas expresiones, las pendientes  $m'$  y  $m''$  se hallan desde la construcción geométrica mostrada en la Figura 2.5 suponiendo que la curvatura entre los tramos  $\overline{CM}$  y  $\overline{MD}$  es casi nula y se asumen como línea recta. Los puntos  $C$  y  $D$  representan

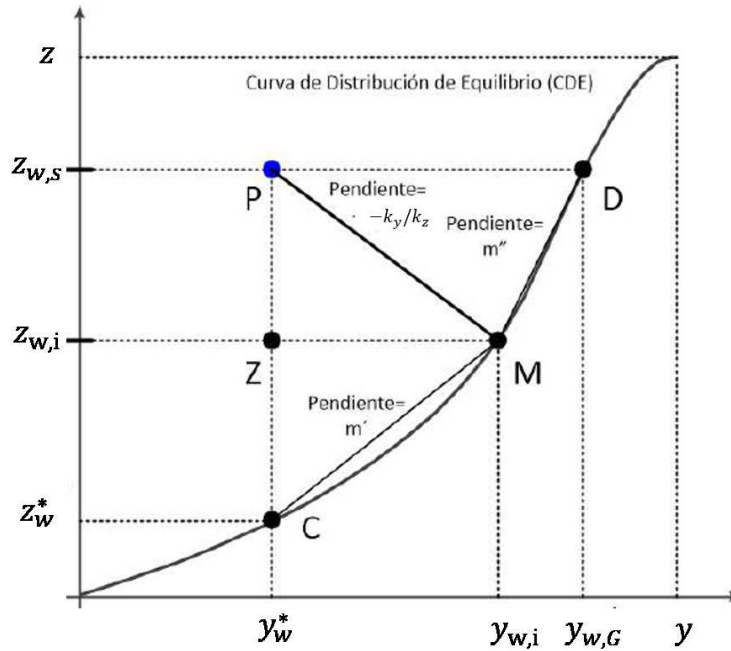


FIGURA 2.5. Construcción geométrica que permite la deducción de los coeficientes englobantes de las fases.

puntos de equilibrio sobre la CDE. El primero,  $C(Y_{w,1}, Z_w^*)$ , representa la condición de equilibrio a partir de la humedad de entrada del aire, el segundo,  $D(Y_w^*, Z_w)$ , corresponde a la condición de equilibrio partiendo de la humedad del sólido. Como ya se dijo, conociendo el coeficiente local englobante,  $K_i$ , uno de los coeficientes locales por fase,  $k_i$  y la respectivas pendiente  $m'$  o  $m''$ , se puede despejar el coeficiente local de la otra fase y de esta manera tener una descripción completa de los fenómenos de transferencia de masa. Esa opción es la que se explota en este trabajo para encontrar los valores experimentales del coeficiente para el sólido  $k_z$ . Dichos valores serán luego los que se pretende reproducir con una expresión matemática general para dicho coeficiente local del sólido.

# CAPÍTULO 3

---

---

## Secado de tomate en rodajas

---

---

El desarrollo y validación de la metodología propuesta en este trabajo requiere de datos experimentales. Se plantea entonces el secado de tomate en rodajas como práctica experimental por ser una fruta de fácil acceso en el mercado local, de fácil manejo, además de la creciente demanda en el mercado de tomate deshidratados. A continuación se presenta el montaje y el plan experimental, así como el tratamiento de los datos obtenidos.

### 3.1. Montaje experimental

Las pruebas experimentales fueron realizadas en el secador de bandejas, Figura 3.1, ubicado en el laboratorio de operaciones de transferencia y control de procesos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El secador de bandejas consiste en un túnel de acero inoxidable con un portabandejas y capacidad para tres bandejas. El túnel puede secar hasta 2.1 kg de material húmedo, con velocidades de aire entre 0 - 3 m/s, y temperatura máxima de 80 °C. La corriente de aire es suministrada por un ventilador de flujo axial, que cuenta con una protección de malla y un regulador de caudal. El aire se calienta eléctricamente y opera con un control electrónico que permite mantener temperaturas estables dentro del secador. El secador tiene incorporado el software UOP8 MKII que actúa como SCADA (Supervisory control and data acquisition) y permite la recolección de datos experimentales, los cuales pueden ser guardados en archivos .xls y .tex (Armfield, 2016).

#### 3.1.1. Preparación del sólido

El sólido a secar es tomate chonto comprado en el mercado local. Se escogen tomates de tamaño y grado de maduración parecido. Sin embargo, como cada experimento requiere del alrededor un kilogramo de tomate, como se muestra en la





FIGURA 3.1. Secador de bandejas instalado en laboratorio.

Figura 3.2, la unificación del grado de maduración depende de la disponibilidad en el mercado. Los tomates son lavados y cortados en rodajas de espesor similar. Las semillas al interior del tomate se retiran y se procede a ubicar las rodajas en las bandejas del secador. Las rodajas se ubican de tal forma que se incluyan 20 rodajas por bandeja.



FIGURA 3.2. Tomates frescos usados en los ensayos de secado de laboratorio.

### 3.1.2. Preparación y arranque del secador

Inicialmente se enciende el secador, iniciando la etapa de precalentamiento con el objetivo de alcanzar la temperatura de secado determinada y se verifica la conexión en el computador para registrar los datos. Las bandejas se retiran del secador, rotulándolas como bandeja 1, bandeja 2 y bandeja 3. Luego se recubren con papel aluminio y se pesan en una balanza analítica con incertidumbre de  $\pm 0.1 g$ . Las bandejas cubiertas con papel aluminio se introducen en el secador y se tara el valor registrado por los sensores de peso con el objetivo que los datos de peso recolectados solo correspondan al sólido que se está secando. Las bandejas se retiran nuevamente del secador y se cargan con las rodajas de tomate. En lo posible, las rodajas de tomate deben ser uniformes en cuanto a tamaño y se escogen de tal forma que queden



alrededor de 20 rodajas por bandeja. Las bandejas con las rodajas son pesadas en la balanza analítica y se registra su peso, solo para tener una segunda medición, puesto que el túnel de secado tiene su propia medición de peso. Se inicia la recolección de datos y una vez se ha alcanzado la temperatura de operación deseada se introducen las bandejas en el secador y permanecen en este hasta que se ha culminado el proceso de secado. El peso se registra para cada instante de muestreo de forma automática

Durante el proceso de secado se monitorea constantemente que no se sobrepase el consumo de corriente eléctrica del elemento calefactor, para evitar que el equipo se apague automáticamente. Una vez se verifica que no hay cambios significativos en el peso del sólido dentro del secador por intervalos grandes de tiempo (alrededor de 10 minutos), se procede a parar la toma de datos, apagar el secador, retirar las bandejas y registrar el peso de cada bandeja con el sólido seco con la balanza analítica. En la Figura 3.3 se observa el sólido, en la misma bandeja, antes y después del proceso de secado.



FIGURA 3.3. Tomates en la bandeja 2 previo a secado, al lado izquierdo y tras el secado, lado derecho.

### 3.1.3. Determinación de peso seco

Para determinar el porcentaje de sólido seco presente en el tomate, en papel aluminio previamente pesado se pone tomate en trozos, sin semillas, se registra su peso inicial,  $m_1$  y se introduce en un horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  de tal forma que se pueda evaporar completamente el agua en el tomate sin dañar su estructura. Se deja en el horno por aproximadamente 24 horas. Una vez pasado ese tiempo, se retira el tomate seco y se registra su peso seco  $m_2$ . El porcentaje de sólido seco,  $\%w_{ss}$  se halla de la siguiente manera:

$$\%w_{ss} = \frac{m_2}{m_1} * 100 \% \quad (3.1)$$

## 3.2. Plan experimental

Los experimentos se plantearon de tal forma que se contara con diversos rangos de temperatura del aire de secado. Las temperaturas de operación fueron escogidos según los valores de temperatura para los que se encontraron isotermas de sorción disponibles en la literatura para tomate en rodajas. Con respecto a la velocidad del aire, si bien el secador tiene la capacidad de ofrecer un caudal entre 0 y 3 m/s, la velocidad máxima alcanzada depende de la temperatura de operación, esto es, a mayor temperatura, menor es la velocidad máxima a la que puede operar el secador sin sobrepasar la capacidad de corriente del secador y provocar el apagado del equipo.

La fase exploratoria se desarrolló en conjunto con las prácticas experimentales de los de estudiantes de la asignatura *Laboratorio de Operaciones de Transferencia y Control de Procesos* de la Facultad de Minas a lo largo del semestre 2019-II. Esta fase permitió la familiarización con el equipo, la determinación del rango de velocidad de trabajo según la temperatura deseada y la mejora del procedimiento presentado en las secciones 3.1.1 a 3.1.3. De los conjuntos de datos entregados por los estudiantes, se escogió el más completo en cuanto a cumplimiento del procedimiento y continuidad en los datos, es decir, que no presentara datos espurios por apagado del equipo a lo largo del proceso. El conjunto de datos, de los entregados por los estudiantes, al que se le realizó el tratamiento de datos y que se incluye en los análisis presentados en esta tesis corresponde al conjunto de datos 2. El conjunto de datos 5 también hace parte de los entregados por los estudiantes, a este conjunto de datos no se le aplicó el tratamiento mostrado en este capítulo ni la metodología propuesta en el capítulo 5 sino que sirvió como referencia en la validación de la capacidad del modelo desarrollado en el capítulo 4 para predecir los datos experimentales al utilizar la expresión propuesta para el coeficiente local de transferencia de masa dentro del modelo 5.27. En la Tabla 3.1 se presentan los conjuntos de datos analizados y sus respectivas condiciones de operación. Como se observa, desafortunadamente la variabilidad de temperatura la limitó el equipo por su auto protección contra excesos de corriente eléctrica.

TABLA 3.1. Condiciones de operación de experimentos.

Experimento	Temperatura de secado [°C]	Velocidad de aire [ $m/s$ ]	Masa de sólido húmedo [ $kg$ ]
1	45	0.81	0.750
2	50	0.63	0.329
3	50	0.68	0.885
4	57	0.64	0.885
5	65	0.54	0.425

### 3.3. Resultados experimentales

En la Tabla 3.2 se presentan los parámetros obtenidos desde el SCADA (supervisory control and data acquisition) del secador. Sin embargo, el valor de los mismos para cada corrida experimental se reportan en los Anexos al final del documento debido al alto volumen de datos considerados. Cabe aclarar que las masas 1, 2 y 3 son reportadas desde los tres sensores, tipo galgas extensiométricas, del equipo. La masa total del sólido húmedo también la reporta el equipo en cada tiempo de muestreo y corresponde a los valores utilizados para construir las curvas de secado.

TABLA 3.2. Parámetros entregados por el secador.

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Número	[-]	Tiempo	[s]
Potencia aplicada a la resistencia de calentamiento	[%]	Temperatura ambiente	[°C]
Temperatura de entrada del aire	[°C]	Temperatura de salida del aire	[°C]
Humedad relativa del aire de entrada	[%]	Humedad relativa del aire de salida	[%]
Velocidad de entrada del aire	[m/s]	Velocidad de aire calculada sobre las bandejas	[m/s]
Masa sensor 1	[g]	Masa sensor 2	[g]
Masa sensor 3	[g]	Masa total de sólido húmedo	[g]

Con respecto al porcentaje de sólido seco en el tomate, en la Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos. De la tabla se puede calcular que el porcentaje de sólido seco en el tomate es, en promedio, 5.2%.

TABLA 3.3. Determinación de sólido seco.

Experimento	Masa inicial de sólido [g]	Masa final de sólido [g]	Porcentaje de sólido seco [%]
1	239.9	12.5	5.2
2	262.9	14.2	5.4
3	366.5	18.8	5.1

## 3.4. Tratamiento de datos

En esta sección se discuten los tratamientos realizados sobre los datos obtenidos desde el SCADA del secador. Solo se presentan aquellos tratamientos de datos relevantes, puesto que las conversiones de unidades y otros tratamientos son triviales.

### 3.4.1. Datos crudos

Los datos crudos para cada corrida experimental son los presentados en la Sección 3.3 y que se reportan en los Anexos. La revisión de datos crudos consiste en identificar y eliminar datos espurios que puedan afectar el análisis de datos y posibles resultados, dentro de esos datos se encuentran:

- Datos tomados antes de ingresar las bandejas al secador.
- Datos registrados mientras se equilibraba el peso medido por los sensores al ingresar las bandejas al secador.
- Datos correspondientes a puntos en los que el secador se apagó por sobrepasar la capacidad de corriente del calentador. Esto ocurría eventualmente, lo que no implicaba desechar el ensayo.

Adicionalmente, en algunos casos por reinicios en el equipo, se borraba la tara de la masa correspondiente a las bandejas, en este caso, se procede a recalcular la masa total del sólido restando al valor registrado por el sensor el valor de la masa correspondiente a las bandejas. Es en estas eventualidades que la toma de peso en la balanza analítica aporta información para no tener que desechar el experimento completo.

### 3.4.2. Cálculo de fracción de humedades en base seca para aire y sólido $Y_w$ y $Z_w$

Los cálculos de transferencia de masa implican trabajar con unidades de concentración. En el proceso de secado de sólido es usual utilizar como unidad de concentración la fracción de humedad en base seca, es decir, el porcentaje de agua (humedad) en base seca de sólido o de aire, según corresponda (Onwude et al., 2016). Adicionalmente, usar estas unidades respecto de los solventes de las fases libres de soluto, permite que los trazos sobre la CDE sean líneas rectas. Esto facilita considerablemente los cálculos y análisis del proceso de secado. Para cada conjunto de datos utilizados en este trabajo, se hallaron las respectivas fracciones de humedad para el aire y el sólido a partir de los datos disponibles.

### 3.4.2.1. Fracción de humedad de aire en base seca $Y_w$

Dentro de los datos obtenidos por el secador se tiene la humedad relativa del aire, por lo que es necesario hacer la conversión a humedad absoluta ( $kg_{agua}/kg_{AireSeco}$ ). Para la conversión de humedades se utiliza la ecuación 3.2 (Alvarez, 2011).

$$Y_w = \frac{\mathfrak{M}_{agua}}{\mathfrak{M}_{aire}} \frac{P_{v\,agua}}{P - P_{v\,agua}} \quad (3.2)$$

en la cual  $\mathfrak{M}_{agua}$  y  $\mathfrak{M}_{aire}$  son el peso molecular del agua y aire, respectivamente,  $P$  es la presión total del sistema y  $P_{v\,agua}$  se refiere a la presión de vapor del agua calculada como:

$$P_{v\,agua} = P_{sat\,T} \frac{\%HR}{100} \quad (3.3)$$

La presión de saturación del agua se calcula según la ecuación de Antoine ya presentada en la Sección 2.4.

En la Figura 3.4 se presentan las humedades de entrada y salida para cada conjunto de datos. Con respecto a las gráficas, se debe precisar que para el conjunto de datos 1, cerca al minuto 100 se sobrepasó la capacidad del calentador por lo que hubo un apagado automático del equipo. Adicionalmente, se observa que el tiempo de secado fue de aproximadamente 700 minutos, lo que equivale a 11 horas. Esta corrida experimental terminó alrededor de las 10:30 pm, lo que explica el aumento gradual de la humedad de entrada del aire cuando llega la noche. Para el conjunto de datos 3, se observa un aumento en la humedad de entrada del aire, debido a que en medio del proceso de secado empezó a llover, causando un aumento en la fracción de humedad del aire del ambiente que es el que se usa en el secado. Se llama la atención sobre el ruido inherente en las mediciones de peso que registra el equipo.

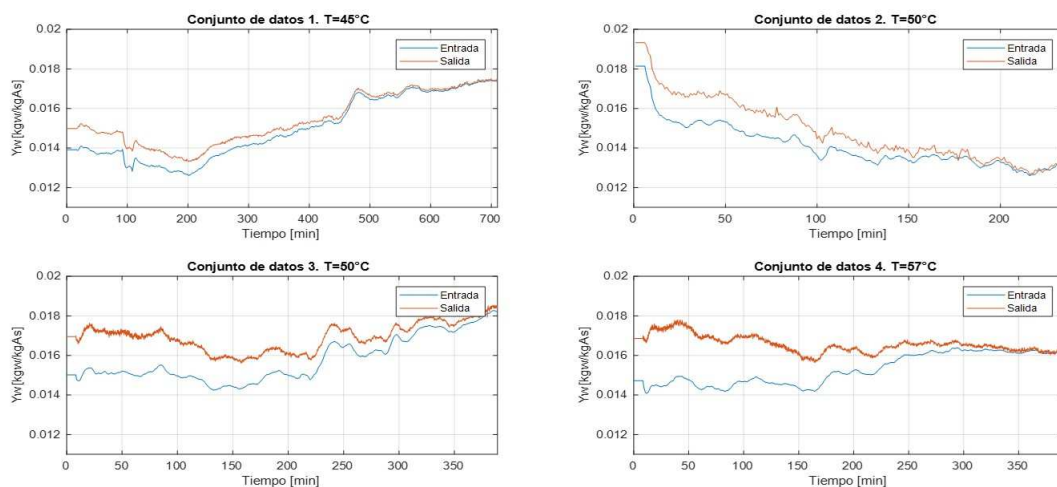


FIGURA 3.4. Humedad absoluta de entrada y salida del aire de secado para cada conjunto de datos experimentales disponibles.

### 3.4.2.2. Fracción másica de humedad del sólido en base seca $Z_w$

La fracción másica de humedad en base seca del sólido,  $Z_w$ , representa la concentración como fracción másica del agua susceptible de ser retirada por el aire de secado. En el proceso de secado se debe conocer el valor de  $Z_w$  en cada instante de tiempo. Para su cálculo se utiliza la ecuación 3.4 (Martínez de la Cuesta & Ruz Martínez, 2004).

$$Z_w(t) = \frac{M_s(t) - M_{MS}}{M_{MS}} \quad (3.4)$$

En esta ecuación  $M_s(t)$  es la masa del sólido húmedo en cualquier instante  $t$ , valor entregado por el SCADA del secador. El parámetro  $M_{MS}$  representa la masa de la matriz sólida, es decir, la masa de la muestra cuando se le ha retirado toda el agua libre o susceptible de ser retirada por el secado, también conocida como masa del sólido seco. La masa de la matriz sólida se halla por medio de la ecuación 3.5 en la cual el valor de  $\%w_{ss}$  se presentó en la Sección 3.3.

$$M_{MS} = M_{s,0} * \%w_{ss} \quad (3.5)$$

El modelo de Page (Demiray & Tuleh, 2012), Tabla 2.1, se usa para ajustar los valores calculados de  $Z_w$  y de aquí en adelante los valores obtenidos con la ecuación de Page se utilizarán en los cálculos posteriores con el fin de eliminar datos espurios y oscilaciones causadas por el ruido de medición. En la Figura 3.5 se presenta la curva de secado para cada conjunto de datos ajustadas con el modelo de Page. Cada curva representa el cambio del contenido de humedad del sólido a lo largo del proceso de secado.

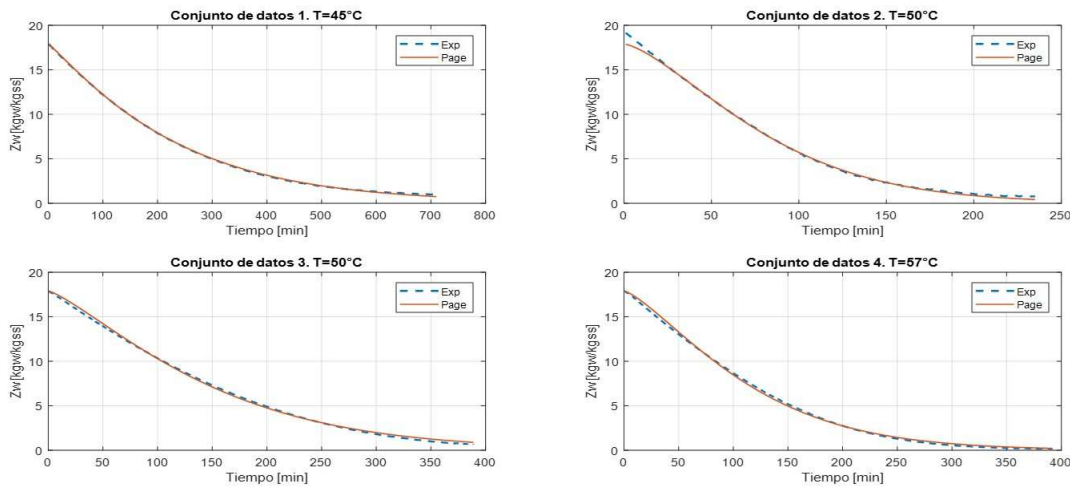


FIGURA 3.5. Contenido de humedad del sólido en base seca para cada conjunto de datos, ajustada con el modelo de Page desde los datos experimentales.

### 3.4.3. Cálculo de la Curva de Distribución de Equilibrio (CDE)

La construcción de la CDE se realizó según lo expuesto en la Sección 2.4. Se encontraron los parámetros de la ecuación de GAB para las temperaturas correspondientes (Belghith et al., 2016). En la Tabla 3.4 se presenta el valor de las constantes y en la Figura 3.6 se muestran las isotermas de sorción correspondientes. Una vez obtenidas las isotermas, se realizó el cambio del eje  $x$  de  $a_w$ , actividad de agua, a humedad absoluta,  $Y_w$ , según la ecuación 2.2, obteniendo las CDE correspondientes que se observan en la Figura 3.7.

TABLA 3.4. Parámetros de ecuación de GAB para tomate a diferentes temperaturas.

Temperatura [°C]	$X_m$	$C$	$K$
45	0.0579	23.546	1.0724
50	0.119	23.03	0.859
60	0.0915	29.1142	1.0577

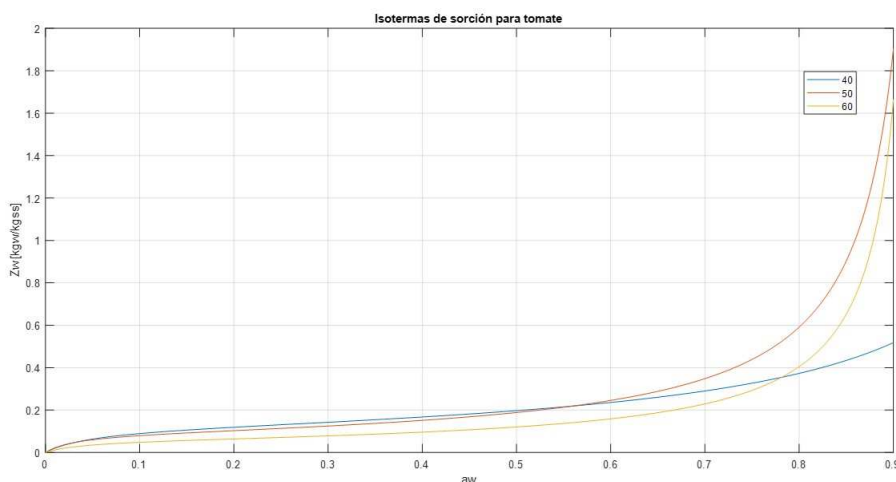
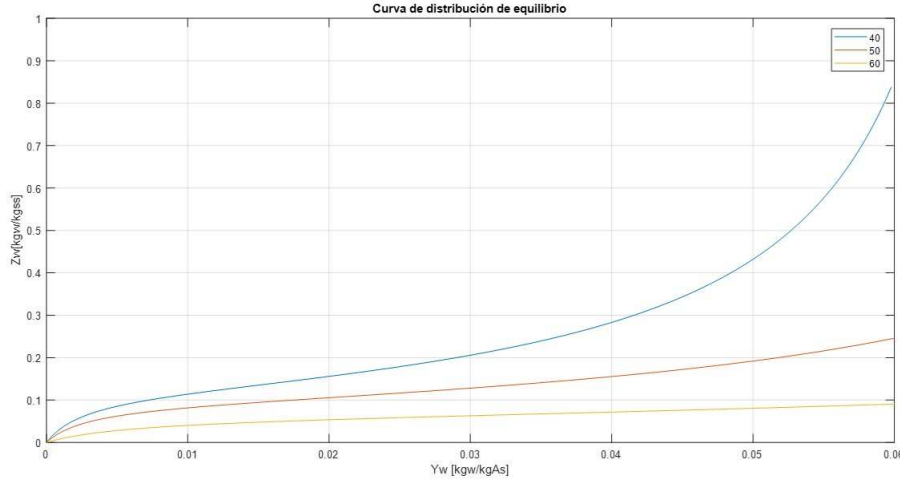


FIGURA 3.6. Isotermas de sorción para tomate a diferentes temperaturas usando el modelo de GAB.

### 3.4.4. Determinación de la humedad crítica

El flux de secado se refiere al flujo de humedad que pasa del sólido al aire por unidad de área en un instante de tiempo (Martinez de la Cuesta & Ruz Martinez, 2004; Seader et al., 2010). Como la humedad transferida se debe a fenómenos combinados de transferencia de calor y masa, este flux no corresponde al flux de





5

FIGURA 3.7. Curva de distribución de equilibrio para el secado de tomate obtenidas desde las isoterms de sorción ajustadas con el modelo de GAB.

transferencia de masa todo el tiempo. El cambio de humedad del sólido en un instante se puede calcular a partir de datos experimentales como:

$$\Delta Z_w = \frac{Z_w(k) - Z_w(k-1)}{t_m} \quad (3.6)$$

en la que  $k$  indica el instante discreto actual y  $k-1$  el instante discreto anterior, espaciados por un tiempo  $t_m$  que corresponde al tiempo de muestreo que transcurre entre cada medición de la masa del sólido que se está secando.

El cambio de humedad en el sólido también se puede obtener a partir de la primera derivada de los modelos matemáticos reportados en la Tabla 2.1. Por ejemplo, si se toma la ecuación de Page y se renombra  $MR$  por  $Z_w'$  se tiene:

$$Z_w' = \frac{Z_w(t) - Z_w^{cas}}{Z_w(t_0) - Z_w^{cas}} = e^{-a t^b} \quad (3.7)$$

Al despejar  $Z_w$  de la ecuación 3.7 se tiene:

$$Z_w = e^{-a t^b} (Z_w(t_0) - Z_w^{cas}) + Z_w^{cas} \quad (3.8)$$

Derivando la ecuación 3.8 con respecto al tiempo se llega a:

$$\frac{dZ_w}{dt} = -(-a b (Z_w(t_0) - Z_w^{cas})) t^{b-1} e^{-a t^b} \quad (3.9)$$

Al dividir el cambio de humedad con respecto al tiempo por el área de transferencia de masa  $A_M$  se obtiene el flux de secado. La gráfica de flux de secado vs. humedad en base seca del sólido permite obtener una gráfica de flux de secado co-



mo la Figura 2.2. El punto C en esa figura representa el fin de la etapa de flux de secado constante y el inicio de la etapa de flux de secado decreciente. A partir de este punto se ha evaporado toda el agua superficial y la humedad que se transfiere al aire corresponde a la humedad libre que está al interior de los poros del sólido. Es a partir de este punto que se considera la transferencia de masa dentro del proceso de secado y por consiguiente desde donde tiene sentido plantear el coeficiente local de transferencia de masa del sólido. La coordenada abscisa del punto C se conoce como humedad crítica del sólido  $Z_{w,c}$ .

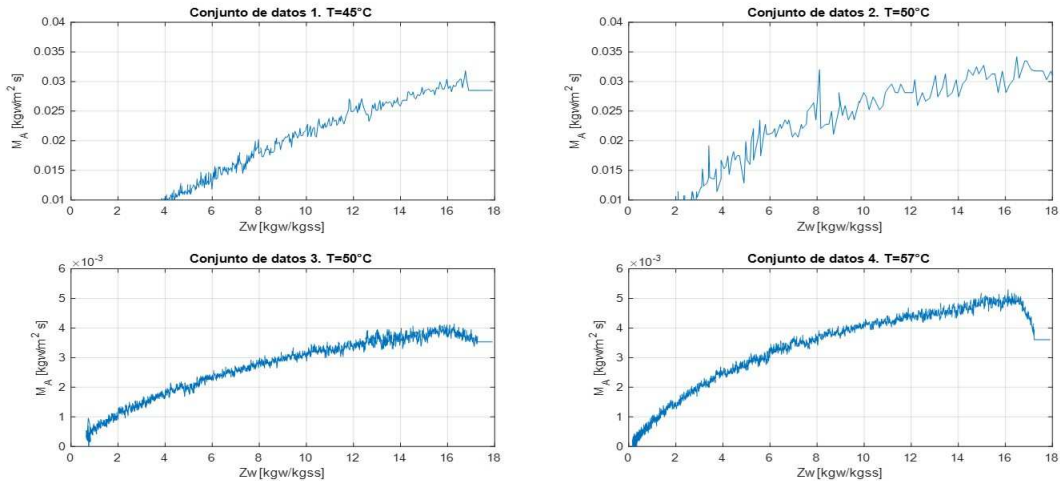


FIGURA 3.8. Flux de secado para los diferentes conjuntos de datos experimentales.

Las curvas de flux de secado vs. fracción de humedad  $Z_w$  para los conjuntos de datos experimentales analizados se muestran en la Figura 3.8. Si bien en las gráficas se observa ruido por la cantidad de datos experimentales, analizando de manera visual cada una de las gráficas se pueden identificar las etapas de flux de secado constante y el punto a partir del cual el flux de secado empieza a ser decreciente. De los datos disponibles se puede determinar que la humedad crítica,  $Z_w^*$  tiene un valor promedio de  $13.5 \text{kg}_w/\text{kg}_{ss}$ .

### 3.4.5. Construcción de líneas de operación

La construcción de la línea de operación se describe a continuación paso a paso, mostrando su aplicación al conjunto de datos 3:

1. Calcular el valor promedio entre la humedad de entrada y salida del aire en cada instante de tiempo y marcar este punto promedio en la CDE. La unión de esos puntos representa la línea de operación para el proceso de secado.
2. Como se observa en la Figura 3.9, graficar las curvas de fracción de humedad del sólido como función de la humedad absoluta de entrada del aire (línea azul), humedad absoluta de salida del aire (línea roja) y línea de operación (línea amarilla).

3. A partir de la gráfica anterior, para los puntos que se encuentran por encima de la humedad crítica del sólido se realiza un ajuste por medio de una línea de recta vertical (paralela al eje  $y$ , que representa la zona con flux de secado constante. Se recuerda que en esta zona el secado se da por evaporación directa del agua superficial o agua de encharcamiento.
4. Para la zona por debajo de la humedad crítica se seleccionan la cantidad de puntos necesarios sobre la curva, de tal manera que el comportamiento de la curva se pueda representar por medio de líneas rectas consecutivas. Aunque se debería trazar una sola línea recta, correspondiente a la zona de secado a flux variable, aquí se toman varias líneas rectas para seguir a tramos los cambios de humedad que experimentó el aire de secado.
5. Una vez seleccionados los puntos se hallan las ecuaciones de las rectas correspondiente. El resultado gráfico se puede ver en la Figura 3.10

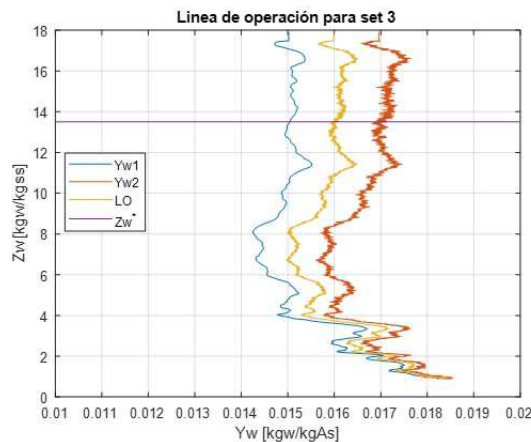


FIGURA 3.9. Valores de humedades del aire de operación para el conjunto de datos experimentales 3.

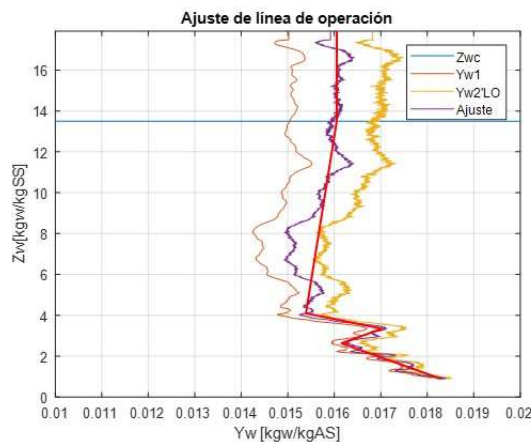


FIGURA 3.10. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 3.

El ajuste de la línea de operación para los demás conjuntos de datos se presentan en las Figuras 3.11 a 3.13. A partir de los ajustes por medio de líneas rectas que se realiza sobre la línea de operación, se inicia el proceso iterativo para el cálculo del coeficiente local de transferencia de masa que se presentará en detalle en el Capítulo 5.

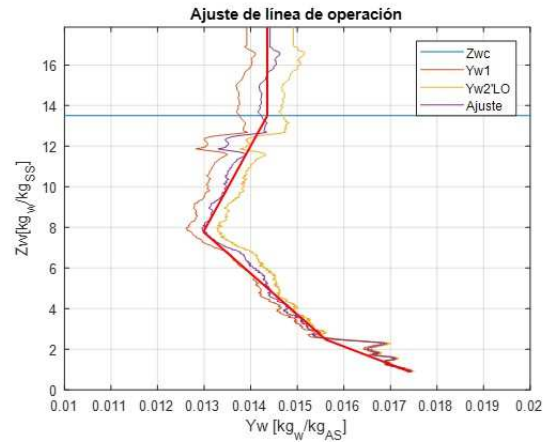


FIGURA 3.11. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 1.

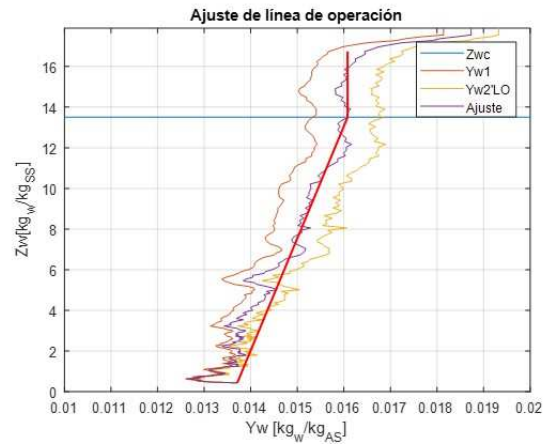


FIGURA 3.12. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 2.

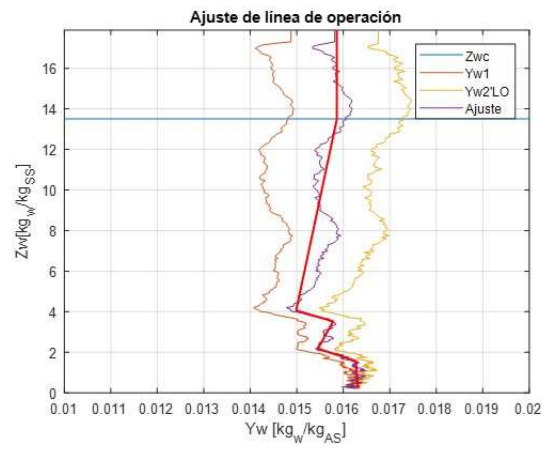


FIGURA 3.13. Líneas de operación ajustada para el conjunto de datos experimentales 4.

# CAPÍTULO 4

---

---

## Modelo semifísico de base fenomenológica para el secado de tomate en bandejas

---

---

Con el objetivo de validar la metodología propuesta para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido, se propone un modelo semifísico de base fenomenológica para el proceso de secado de tomat. El modelo se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por (Alvarez et al., 2009). En este modelo se introducirá la formulación para calcular el valor de coeficiente y lograr que el modelo reproduzca la curva de secado y la transferencia de calor que ocurre en el proceso real.

### 4.1. Descripción del proceso

El secado de tomate se realiza en el secador de bandejas descrito en la Sección 3.1. Las rodajas de tomate, de tipo y grado de maduración determinado, de diámetro  $r_s$  (cm), masa  $M_s$  (kg) y humedad inicial  $W_{s0}$ , son distribuidas uniformemente a lo largo de cada bandeja, asegurando que la cantidad de rodajas sea igual en todas las bandejas. Las bandejas son introducidas dentro del secador una vez se ha realizado el precalentamiento del aire dentro del túnel de secado.

Para la operación del secador, se hace circular una corriente de aire  $\dot{m}_1$  (kg/min), con un contenido de humedad inicial  $Y_{w,1}$  y temperatura  $T_1$  (°C), la cual retira la humedad contenida en las rodajas de tomate, obedeciendo a principios de transferencia de masa y calor. El aire sale del secador con un flujo  $\dot{m}_2$  (kg/min), con un contenido de humedad  $Y_{w,2}$  y temperatura  $T_2$  (°C).

El objetivo del modelo es dar respuesta a la pregunta: ¿cómo cambia la humedad y temperatura en el tomate y en el aire de secado a medida que transcurre el tiempo?

## 4.2. Hipótesis de modelado

El sólido húmedo se considera formado por una matriz porosa, con humedad retenida en esta (agua libre). Por tratarse de una fruta, los poros se encuentran saturados con agua, lo que no ocurre por ejemplo en materiales minerales, en los cuales, los poros pueden contener agua, aire y gases debido a su proceso de producción y tratamientos.

El agua libre contenida en la matriz sólida es transferida al aire caliente que circula en el secador por mecanismos combinados de transferencia de masa y calor. Una vez el sólido alcanza el equilibrio térmico con el aire caliente, es decir, pasa de a la zona de atemperación, se retira el agua que se encuentra en la superficie del sólido (agua de encharcamiento), hasta alcanzar su humedad crítica. Este proceso de evaporación se da por efectos de transferencia de calor entre el sólido y el aire circundante, y es caracterizado por tener una velocidad de secado constante. Cuando se alcanza la humedad crítica, la transferencia de agua continúa con una velocidad de secado decreciente, hasta que el sólido llega a la humedad de equilibrio con el aire de secado. Durante este proceso, se retira la humedad libre contenida al interior de los poros del sólido mediante transferencia de masa. En este momento se establecen dos equilibrios químicos: el primero entre el agua adsorbida sobre la superficie del poro y el agua vaporizada dentro del mismo, y el segundo, entre el agua vaporizada al interior del poro y el agua vaporizada en el aire de secado. Los siguientes supuestos complementan la hipótesis del modelado:

- La separación entre las bandejas es tal que los perfiles de flujo se desarrollan de la misma manera para cada bandeja.
- Las rodajas de tomate dentro del secador son uniformes en tamaño, forma, propiedades fisicoquímicas y tienen el mismo contenido de humedad inicial.
- Se secan tomates a los que se les retiran las semillas pero se les deja la cáscara.
- Las rodajas se consideran con espacios huecos en su interior (área descontada al retirar las semillas).
- Los fenómenos superficiales y de transferencia de masa serán analizados para el sólido como un todo.
- Existe agitación perfecta en el aire al interior del túnel.
- Se considera que los cambios de presión dentro del sistema son despreciables.

Se aclara que aunque se modelan las dos etapas principales del secado: evaporación de agua superficial por transferencia de calor y retiro de humedad por transferencia de masa, aquí solo se reporta en detalle la segunda etapa. Esto porque dicha etapa es la pertinente para el cálculo del coeficiente local de transferencia de masa para el sólido. El modelado de la etapa de evaporación de agua de encharcamiento es trivial y se incluyó en el simulador final obtenido, para poder tener completa la reconstrucción de la curva de secado.

### 4.3. Definición de los sistemas de proceso

En el túnel de secado se detectan dos porciones de materia en el proceso: el aire de secado y las rodajas de tomate. El sistema se modela por medio de parámetros concentrado. Para eso se toman dos sistemas de proceso, el aire de secado como Sistema de proceso I ( $SdeP_I$ ), y el sólido que se está secando (tomate) como Sistema de proceso II ( $SdeP_{II}$ ). En la Figura 4.1 se observa el diagrama de bloques de estos sistemas de proceso y su relación en términos de flujos de masa (flechas delgadas) y flujo de energía (flecha gruesa).

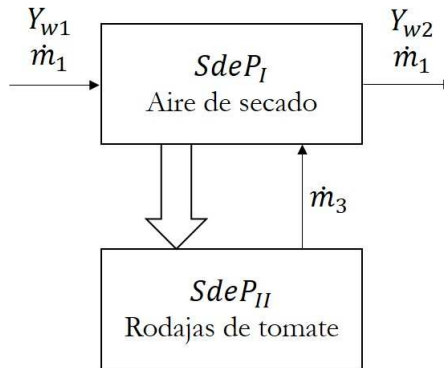


FIGURA 4.1. Diagrama de bloques de los sistemas de proceso.

### 4.4. Aplicación de la Ley de conservación

La aplicación de la Ley de Conservación se realiza para cada uno de los sistemas de proceso ( $SdeP$ ) definidos en la Figura 4.1 como se muestra a continuación.

#### 4.4.1. Sistema de Proceso aire $SdeP_I$

*Balance Total de Masa en  $SdeP_I$ .* En este caso el balance de masa total es:

$$\frac{dM_I}{dt} = \dot{m}_1 + \dot{m}_3 - \dot{m}_2 \quad (4.1)$$

con  $M_I$  la masa total de aire húmedo contenida en este  $SdeP$ ,  $\dot{m}_1$  y  $\dot{m}_2$  los flujos másicos de aire de las corrientes de entrada y salida de  $SdeP_I$  y,  $\dot{m}_3$  la corriente de agua que va del sólido al aire, bien sea por transferencia de calor durante la etapa de evaporación de agua de encharcamiento o por transferencia de calor y masa durante el secado a flux variable.

*Balance de Masa por Componente  $SdeP_I$ .* El único componente de interés en el  $SdeP_I$  es el agua, que se denota con el subíndice  $w$ :

$$\frac{dM_{wI}}{dt} = Y_{w1} \dot{m}_{as} + \dot{m}_3 - Y_{w2} \dot{m}_{as} \quad (4.2)$$

con  $M_{wI}$  la masa total de agua contenida en  $SdeP_I$ ,  $Y_{wi}$  la fracción másica de agua, respecto de aire seco, en la corriente  $i = 1, 2$  y  $\dot{m}_{as}$  el flujo másico de aire seco de la misma corriente. La masa total de agua se puede expresar como el producto entre la fracción de agua contenida en ese sistema de proceso y la masa total de aire seco, es decir,  $Y_{wI} * M_{asI}$ . Al suponer agitación perfecta, es posible igualar la fracción másica de agua contenida en  $SdeP_I$  con la de la corriente de salida  $\dot{m}_2$ , es decir,  $Y_{wI} = Y_{w2}$ . Aplicando la definición de derivada a ese producto se obtiene:

$$M_{asI} \frac{dY_{w2}}{dt} + Y_{w2} \frac{dM_{asI}}{dt} = Y_{w1} \dot{m}_{as} + \dot{m}_3 - Y_{w2} \dot{m}_{as} \quad (4.3)$$

Teniendo en cuenta que la masa de aire seco no cambia y reorganizando, se obtiene la ecuación final del balance por componente para el agua en  $SdeP_{I,1}$ :

$$\frac{dY_{w2}}{dt} = \frac{1}{M_{asI}} (Y_{w1} \dot{m}_{as} + \dot{m}_3 - Y_{w2} \dot{m}_{as}) \quad (4.4)$$

*Balance de energía térmica en  $SdeP_I$ .* A continuación se plantea el balance de energía térmica para este sistema de proceso.

$$\frac{dE_I}{dt} = \dot{m}_1 \hat{H}_1 + \dot{m}_3 \hat{H}_v - \dot{m}_2 \hat{H}_2 - \dot{Q}_{a-s} - \dot{Q}_\infty \quad (4.5)$$

en la cual  $E_I$  es la energía total del  $SdeP_I$ ,  $\hat{H}_i$  corresponde a la entalpía de las corrientes de entrada y salida de  $SdeP_I$ ,  $\hat{H}_v$  es la entalpía del agua en forma de vapor (estado en que se encuentra al transferirse del sólido al aire), la cantidad  $\dot{Q}_{a-s}$  es igual al calor transferido desde el aire al sólido y el término  $\dot{Q}_\infty$  es el calor transferido desde el aire a los alrededores.

La energía total del sistema puede expresarse como  $M \hat{C}_{v_{aire}} T$ , en la que la capacidad calorífica específica a volumen constante,  $\hat{C}_{v_{aire}}$ , se considera constante, por lo que al aplicar la definición de la derivada se llega a:

$$\hat{C}_{v_{aire}} \left( M_I \frac{dT_I}{dt} + T_I \frac{dM_I}{dt} \right) = \dot{m}_1 \hat{H}_1 + \dot{m}_3 \hat{H}_v - \dot{m}_2 \hat{H}_2 - \dot{Q}_{a-s} - \dot{Q}_\infty \quad (4.6)$$

En este caso, el diferencial de temperatura es el principal, siendo el diferencial de masa total  $\frac{dM_I}{dt}$  evaluable desde el balance total de masa, por lo que no es el diferencial principal de esta ecuación y se expresa como un parámetro ( $\dot{M}_I$ ). Al considerar agitación perfecta, la temperatura del sistema  $T_I$  es igual a la temperatura de la corriente de salida, en este caso de la corriente 2. A continuación se muestra la ecuación final del balance de energía térmica para  $SdeP_I$ :



$$\frac{dT_2}{dt} = (\dot{m}_1 \hat{H}_1 + \dot{m}_3 \hat{H}_v - \dot{m}_2 \hat{H}_2 - \dot{Q}_{a-s} - \dot{Q}_\infty - \hat{C}v_{aire} T_2 \dot{M}_{I,1}) \left( \frac{1}{\hat{C}v_{aire} M_I} \right) \quad (4.7)$$

*Balance de energía mecánica en SdeP<sub>I</sub>.* En este caso no se aplica balance de energía mecánica puesto que no se consideran cambios importantes de presión dentro del sistema para la corriente de aire.

En resumen, las ecuaciones de balances para SdeP<sub>I</sub> son:

*Balance Total de Masa:*

$$\frac{dM_I}{dt} = \dot{m}_1 + \dot{m}_3 - \dot{m}_2 \quad (4.8)$$

*Balance de Masa por componente*

$$\frac{dY_{w2}}{dt} = \frac{1}{M_{as}} (Y_{w1} \dot{m}_{as} + \dot{m}_3 - Y_{w,2} \dot{m}_{as}) \quad (4.9)$$

*Balance de energía térmica*

$$\frac{dT_2}{dt} = (\dot{m}_1 \hat{H}_1 + \dot{m}_3 \hat{H}_v - \dot{m}_2 \hat{H}_2 - \dot{Q}_{a-s} - \dot{Q}_\infty - \hat{C}v_{aire} T_2 \dot{M}_{I,1}) \left( \frac{1}{\hat{C}v_{aire} M_I} \right) \quad (4.10)$$

#### 4.4.2. Sistema de Proceso sólido SdeP<sub>II</sub>

*Balance Total de Masa en SdeP<sub>II</sub>.* En este caso el balance de masa total es:

$$\frac{dM_{II}}{dt} = -\dot{m}_3 \quad (4.11)$$

con  $M_{II}$  la masa total del sólido húmedo y  $\dot{m}_3$  la corriente de agua que va del sólido al aire. Como ya se dijo, esta corriente corresponde al flujo de agua en dos momentos distintos: la evaporación de agua de encharcamiento y la transferencia de masa cuando la humedad del sólido es menor que la crítica.

*Balance de Masa por Componente en SdeP<sub>II</sub>.* Al igual que en SdeP<sub>I</sub>, el único componente considerado en el SdeP<sub>II</sub> es el agua, denotado con el subíndice  $w$ .

$$\frac{dM_{wII}}{dt} = -\dot{m}_3 \quad (4.12)$$

con  $M_{wII}$  la masa total de agua contenida en SdeP<sub>II</sub>. Esa masa total de agua se puede expresar como el producto entre la fracción de agua contenida en el sólido, respecto del sólido seco en SdeP<sub>II</sub> y la masa total de sólido seco, es decir,  $Z_w M_{ss}$ . Aplicando la definición de derivada a ese producto se obtiene:

$$M_{ss} \frac{dZ_w}{dt} + Z_w \frac{dM_{ss}}{dt} = -\dot{m}_3 \quad (4.13)$$

Teniendo en cuenta que la masa de sólido seco se mantiene constante y reorganizándose, se obtiene la ecuación final del balance por componente para el agua en *SdeP<sub>II</sub>*:

$$\frac{dZ_w}{dt} = -\frac{1}{M_{ss}} \dot{m}_3 \quad (4.14)$$

*Balance de energía térmica en SdeP<sub>II</sub>*. A continuación se plantea el balance de energía térmica para este sistema de proceso.

$$\frac{dE_{II}}{dt} = \dot{Q}_{a-s} - \dot{m}_3 \hat{H}_v \quad (4.15)$$

En esta expresión  $E_{II}$  es la energía total del sistema,  $\hat{H}_v$  corresponde a la entalpía específica másica de vaporización del agua, y la cantidad  $\dot{Q}_{a-s}$  es igual al calor transferido desde el aire al sólido.

La energía total del sistema puede expresarse nuevamente como  $M \hat{C}_{v_{sólido}} T$ , pero  $\hat{C}_{v_{sólido}} = \hat{C}_{p_{sólido}}$  por ser un sólido. Además se considera que la cantidad  $\hat{C}_{p_{sólido}}$  es constante. Al aplicar la definición de la derivada se llega a:

$$\hat{C}_{p_{sólido}} \left( M_{II} \frac{dT_{II}}{dt} + T_{II} \frac{dM_{II}}{dt} \right) = \dot{Q}_{a-s} - \dot{m}_3 \hat{H}_v \quad (4.16)$$

El diferencial de temperatura es el principal. El diferencial de masa total  $\frac{dM_{II}}{dt}$  se evalúa desde el balance total de masa, por lo que no es el diferencial principal y se toma como un parámetro ( $\dot{M}_{II}$ ). Al usar el supuesto de agitación perfecta, es posible igualar la temperatura del sistema *SdeP<sub>II</sub>* con la de la temperatura del sólido húmedo, es decir,  $T_{II}=T_s$ . Finalmente, la ecuación del balance de energía térmica para *SdeP<sub>II</sub>* es:

$$\frac{dT_s}{dt} = (\dot{Q}_{a-s} - \dot{m}_3 \hat{H}_v - \hat{C}_{p_{sólido}} T_s \dot{M}_{II}) \left( \frac{1}{\hat{C}_{p_{sólido}} M_{II}} \right) \quad (4.17)$$

En resumen, las ecuaciones de balances para este *SdeP<sub>I</sub>* son:

*Balance Total de Masa:*

$$\frac{dM_{II}}{dt} = -\dot{m}_3 \quad (4.18)$$

*Balance de Masa por Componente:*

$$\frac{dZ_{wII}}{dt} = -\frac{1}{M_{ssII}} \dot{m}_3 \quad (4.19)$$

*Balace de energía térmica i:*

$$\frac{dT_s}{dt} = (\dot{Q}_{a-s} - \dot{m}_3 \hat{H}_v - \hat{C}_{p_{sólido}} T_s \dot{M}_{II,i}) \left( \frac{1}{\hat{C}_{p_{sólido}} M_{II}} \right) \quad (4.20)$$

## 4.5. Determinación de la estructura básica del modelo

A partir de la aplicación de la ley de conservación sobre los sistemas de proceso, se puede evidenciar que los balances que aportan a la solución de la pregunta objetivo del modelo son los balances de materia y energía en ambos sistemas de proceso. Se reescriben a continuación los balances que conforman la estructura básica del modelo para tenerlos en un solo sitio.

$$\frac{dM_I}{dt} = \dot{m}_1 + \dot{m}_3 - \dot{m}_2 \quad (4.21)$$

$$\frac{dY_{w2}}{dt} = \frac{1}{M_{asI}} (Y_{w1} \dot{m}_{as} + \dot{m}_3 - Y_{w2} \dot{m}_{as}) \quad (4.22)$$

$$\frac{dM_{II}}{dt} = -\dot{m}_3 \quad (4.23)$$

$$\frac{dZ_w}{dt} = -\frac{1}{M_{ssII}} \dot{m}_3 \quad (4.24)$$

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{C_{p_a} M_I} (\dot{m}_{as} C_p (T_1 - T_2) + \dot{m}_3 H_{vap} - \dot{Q}_{as} - \dot{Q}_{\infty}) - \frac{T_2}{M_I} \dot{M}_I \quad (4.25)$$

$$\frac{T_s}{dt} = \frac{1}{C_{p_s} M_{II}} (-\dot{m}_3 H_{vap} + \dot{Q}_{as}) - \frac{T_s}{M_{II}} \dot{M}_s \quad (4.26)$$

## 4.6. Reconocimiento y acotamiento de variables, parámetros estructurales y constantes

Para las ecuaciones que conforman la estructura básica del modelo, la Tabla 4.1 presenta las variables, parámetros estructurales y constantes. Las variables del mo-

delo son aquellas que aparecen como argumento en el diferencial de las ecuaciones y por tanto su valor solo se puede conocer resolviendo el modelo. Las constantes son aquellos valores que no cambian debido al montaje del proceso o que se mantienen invariables en el modelo por decisión del modelador. Los demás símbolos que aparecen en las ecuaciones corresponden entonces a parámetros estructurales del modelo. El valor de estos parámetros se deben definir antes de resolver el modelo (Alvarez et al., 2009).

TABLA 4.1. Variables, parámetros estructurales y constantes del modelo

	Instancia	Val. Min	Val. Max	Total
Variable	Una por cada ecuación			6
	$M_I$	$0kg$	$0.018kg$	1
	$Y_w$	$0 \frac{kg_w}{kg_{AS}}$	$0.019 \frac{kg_w}{kg_{AS}}$	1
	$M_{II}$	$0kg$	$2.1kg$	1
	$Z_w$	$0 \frac{kg_w}{kg_{ss}}$	$17.9 \frac{kg_w}{kg_{ss}}$	1
	$T_2$	$0^\circ C$	$60^\circ C$	1
	$T_s$	$20^\circ C$	$60^\circ C$	1
Parámetros				10
	$\dot{m}_1$	$0 \frac{kg_{aire}}{min}$	$0.045 \frac{kg_{aire}}{min}$	1
	$\dot{m}_{w,i}$	$0 \frac{kg_w}{min}$	$0.003 \frac{kg_w}{min}$	1
	$M_{as I}$	$0 kg_{aire}$	$0.017 kg_{aire}$	1
	$Y_{w,1}$	$0 \frac{kg_w}{kg_{AS}}$	$0.018 \frac{kg_w}{kg_{AS}}$	1
	$\dot{m}_{as}$	$0 \frac{kg_{AS}}{min}$	$0.04 \frac{kg_{AS}}{min}$	1
	$M_{ss II,i}$	$0 kg_{ss}$	$0.1113 kg_{ss}$	1
	$Cp_a$		$1.007 \frac{J}{kg K}$	1
	$\dot{Q}_{as}$	$0 \frac{J}{s}$	$15 \frac{J}{s}$	1
	$\dot{Q}_\infty$	$0 \frac{J}{s}$	$70 \frac{J}{s}$	1
	$H_{vap}$	--	$2.3 \times 10^4 \frac{J}{kg}$	1

## 4.7. Propuesta de ecuaciones constitutivas y de valoración

Las ecuaciones constitutivas permiten evaluar los parámetros del modelo, por lo que conforman su estructura extendida.

### 4.7.1. Flujo másico de aire húmedo

El flujo másico que entra al sistema  $\dot{m}_1$  será calculado a partir de la expresión:

$$\dot{m}_1 = v * A_S * \rho_{aire} \quad (4.27)$$

en la cual  $v$  corresponde a la velocidad del aire,  $A_S$  el área transversal del secador y  $\rho_{aire}$  es la densidad del aire al ingresar al secador. Estos aparecen como parámetros funcionales de primer nivel, y se evalúan con las siguientes ecuaciones constitutivas.

Para la velocidad del aire se considera una ecuación trivial, puesto que su valor lo entrega el SCADA:

$$v = Dato \quad (4.28)$$

El área transversal de halla como el área del túnel de secado menos el área ocupada por las bandejas:

$$A_s = h_s b_s - 3 h_b b_b \quad (4.29)$$

En esta expresión  $h_s$  y  $b_s$  son parámetros funcionales de segundo nivel correspondientes a la altura del túnel de secado y el ancho de su base.  $h_b$  y  $b_b$  se refieren a la altura y base de las bandejas en el secador. Los anteriores parámetros tienen ecuaciones triviales, ya que se encuentran en el manual del equipo.

$$h_s = Dato \quad (4.30)$$

$$b_s = Dato \quad (4.31)$$

$$h_b = Dato \quad (4.32)$$

$$b_b = Dato \quad (4.33)$$

La densidad del aire se calcula como (Tsilingiris, 2008):

$$\rho_{aire} = (3.484 - 1.317 * x_v) \frac{P_{atm}}{273.15 + T_2} \quad (4.34)$$

en la cual  $x_v$  corresponde a la fracción molar de vapor de agua en el aire, la cual se evalúa como:

$$x_v = \frac{P_{sat} * \%HR_{in}}{P_{atm} * 100} \quad (4.35)$$

en esta expresión  $P_{sat}$  es la presión de saturación del aire a la temperatura  $T_1$ , presión que se calcula como:

$$P_{sat} = exp \left( a - \left( \frac{b}{T_1 + c} \right) \right) \quad (4.36)$$

En los cuales  $a$ ,  $b$ ,  $c$  son las constantes de la ecuación de Antoine y tienen ecuaciones triviales (Poling et al., 2001)

$$a = 16.3872 \quad (4.37)$$

$$b = 3885.7 \quad (4.38)$$

$$c = 230.17 \quad (4.39)$$

$\%HR_{in}$  es el porcentaje de humedad relativa de entrada del aire y es medida en el proceso y entregado por el SCADA, por lo que tiene ecuación trivial:

$$\%HR_{in} = dato \quad (4.40)$$

Por último,  $P_{atm}$  es las presión atmosférica en las condiciones de operación, la que tiene ecuación trivial, con el calor de la presión atmosférica de Medellín:

$$P_{atm} = Dato \quad (4.41)$$

### 4.7.2. Flujo másico de agua transferido

El flujo másico de agua transferido desde el sólido hasta el aire ( $\dot{m}_3$ ), se halla a partir de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_3 = A_M * M_A \quad (4.42)$$

En la que  $M_A$  es el flux másico de agua transferida y  $A_M$  es el área de transferencia, de masa y calor, entre el sólido y el aire. El área de transferencia corresponde al área superficial de una rodaja de tomate ( $A_R$ ), multiplicada por un factor que permite corregir el área que se pierde al remover las semillas, el número de rodajas por bandejas,  $Nr$ , y el número de bandejas en el secador,  $Nb$ :

$$A_M = F_c A_R Nb Nr \quad (4.43)$$

El factor de corrección,  $F_c$ , el número de bandeja y el número de rodajas en cada bandeja corresponden a ecuaciones triviales, pues se ingresan como datos:

$$F_c = Dato \quad (4.44)$$

$$Nb = Dato \quad (4.45)$$

$$Nr = Dato \quad (4.46)$$

El área superficial de la rodaja se calcula a partir de su diámetro  $D_R$  como:

$$A_R = \pi \frac{D_R^2}{4} \quad (4.47)$$

y  $D_R$  se ingresa como un dato:

$$D_R = Dato \quad (4.48)$$

El flux másico de agua,  $M_A$ , se evalúa en dos momentos según la fracción de humedad del sólido,  $Z_w$  en cada tiempo. En la primera etapa se evapora el agua de encharcamiento y la resistencia de la fase gaseosa es controlante. En la segunda etapa inicia la transferencia de masa que es controlada por la resistencia al transporte dentro del sólido (Martinez de la Cuesta & Ruz Martinez, 2004).

$$M_A = \begin{cases} K_y * (Y_w^* - Y_w) & \text{si } Z_w \geq Z_{w,c} \\ K_z * (Z_w - Z_w^*) & \text{si } Z_w < Z_{w,c} \end{cases} \quad (4.49)$$

La humedad crítica,  $Z_{w,c}$  que diferencia a las dos etapas de secado se ingresa como dato y tiene ecuación trivial. En el caso del secado de tomate se tiene que:

$$Z_{w,c} = 13.5 \quad (4.50)$$

Para la primera etapa, el coeficiente local englobante para la fase gaseosa se calcula según la ecuación 4.51 (Li & Duncan, 2008), en la cual  $\sigma$  es la tasa de

evaporación de la humedad contenida en la capa límite que rodea la partícula y que es transferida hacia el gas intersticial.

$$K_y = C_y \sigma \quad (4.51)$$

En esta expresión  $C_y$  es un factor de ajuste entre los datos experimentales y los resultados del modelo. La tasa de evaporación depende de la densidad del gas ( $\rho_{aire}$ ), del coeficiente de difusividad molecular del gas de secado ( $\mathfrak{D}_{AB}$ ), de la conductividad térmica del gas de secado ( $\kappa_{aire}$ ) y del coeficiente de transferencia de calor entre el sólido y el aire ( $h_H$ ) que se detallará en la Sección 4.7.8.

$$\sigma = \frac{h_{aire} \rho_{aire} \mathfrak{D}_{AB}}{\kappa_{aire}} \quad (4.52)$$

La conductividad térmica del aire de secado se ingresa como dato y tiene ecuación trivial.

$$\kappa_{aire} = Dato \quad (4.53)$$

La difusividad del agua en el aire se calcula por medio de la ecuación de Fuller, Schettler y Gidding para mezcla de gases (Seader et al., 2010):

$$\mathfrak{D}_{AB} = \frac{0.00143T^{1.75}}{P \mathfrak{M}_{AB}^{1/2} \left( \Sigma_{v,A}^{1/3} + \Sigma_{v,w}^{1/3} \right)^2} \quad (4.54)$$

en la cual  $P$  es la presión del sistema y

$$\mathfrak{M}_{AB} = \frac{2}{\frac{1}{\mathfrak{M}_{aire}} + \frac{1}{\mathfrak{M}_{agua}}} \quad (4.55)$$

$\mathfrak{M}_{aire}$  y  $\mathfrak{M}_{agua}$  son los pesos moleculares del aire y agua, respectivamente. Los pesos moleculares tienen valores propios para cada sustancia, por lo que tienen ecuaciones constitutivas triviales:

$$\mathfrak{M}_{agua} = 18kg/kmol \quad (4.56)$$

$$\mathfrak{M}_{aire} = 29kg/kmol \quad (4.57)$$

$\Sigma_v$  la suma de los volúmenes atómicos de difusión para el aire (subíndice A) y el agua (subíndice w). Ambos parámetros se ingresan como datos:

$$\Sigma_{v,A} = 19.7 \quad (4.58)$$



$$\Sigma_{v,w} = 10.7 \quad (4.59)$$

La presión de saturación del agua, a la temperatura  $T$  del sistema, se halla a partir de la ecuación 4.36

En el término de diferencia de concentraciones en la ecuación 4.49,  $Y_w$  es la fracción másica de agua en base seca de aire obtenida de la solución de los balances en cada tiempo. La concentración  $Y_w^*$  corresponde a la fracción de humedad del aire si estuviera en equilibrio con el sólido. Su valor corresponde a la humedad del aire en el cual la curva de la CDE tiene pendiente infinita (ver Sección 2.4). Este valor se lee directamente de la CDE y tiene ecuación trivial:

$$Y_w^* = Dato \quad (4.60)$$

En la segunda etapa de secado, el flux másico  $M_A$  en la ecuación 4.49 depende del coeficiente de transferencia de masa global  $K_z$ , y un gradiente de concentraciones, expresadas como fracciones másicas de agua en base seca, en el sólido ( $Z_w$ ) y proyectada sobre la interfase sólido-aire ( $Z_w^*$ ).

$$M_A = K_z(Z_w - Z_w^*) \quad (4.61)$$

La fracción másica de agua en base seca, se obtiene de la solución de los balances en cada instante de tiempo. La concentración proyectada o ficticia,  $Z_w^*$ , corresponde a la concentración que tendría el sólido si no existiera restricción a la transferencia en el aire de secado. Este valor se puede calcular por medio de la ecuación de GAB después de hacer la conversión apropiada de actividad de agua a humedad absoluta, tomando la condición actual del gas:

$$Z_w^* = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (4.62)$$

En esta ecuación  $X_m$ ,  $C$  y  $K$  son constantes propias de la CDE y dependen del sólido y la temperatura de operación, por lo que tienen ecuaciones constitutivas triviales. Los valores para tomate se presentaron en la Tabla 3.4.

$$X_m = Dato \quad (4.63)$$

$$C = Dato \quad (4.64)$$

$$K = Dato \quad (4.65)$$

La actividad del agua,  $a_w$  se calcula como:

$$a_w = \frac{Y_w P_{atm}}{P_{sat} \left( \frac{\mathfrak{M}_{agua}}{\mathfrak{M}_{aire}} + Y_w \right)} \quad (4.66)$$

con  $Y_w$  fracción másica de agua en base seca de aire obtenida con la solución de los balances en cada tiempo. La expresión para el cálculo del coeficiente englobante de transferencia de masa  $K_z$  es:

$$K_z = \frac{1}{k_z} + m' \frac{1}{k_z} \quad (4.67)$$

en la cual,  $m'$  es la pendiente que aproxima el comportamiento de la curva de distribución de equilibrio (CDE),  $k_y$  y  $k_z$  son coeficientes locales de transferencia de masa local en la fase gaseosa y sólida, respectivamente.

El coeficiente local del gas  $k_y$ , incluye el equilibrio entre el aire dentro de los poros del sólido y el aire del secador, y se calcula como sigue:

$$k_y = \frac{Sh \mathfrak{D}_{ab}}{L_b} \quad (4.68)$$

en la cual  $Sh$  es el número de Sherwood,  $\mathfrak{D}_{ab}$  es la difusividad del agua en el aire.  $L_b$  es la longitud característica correspondiente a la longitud de una bandeja que tiene ecuación trivial:

$$L_b = 0.305m \quad (4.69)$$

El número de Sherwood representa el cociente entre la transferencia de masa por convección y difusión. Depende de los números de Reynolds ( $Re$ ), Stanton ( $St$ ) y Schmidt ( $Sc$ ):

$$Sh = Re St Sc \quad (4.70)$$

El número de Reynolds establece la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en un fluido, para caracterizar su movimiento como laminar o turbulento, y se calcula como:

$$Re = \frac{\rho_{aire} v L_b}{\mu_{aire}} \quad (4.71)$$

con  $\rho_{aire}$  densidad del aire,  $v$  velocidad del aire y  $\mu_{aire}$  la viscosidad del aire a la temperatura de operación del secador, la cual se ingresa como dato y tiene ecuación trivial:

$$\mu_{aire} = Dato \quad (4.72)$$

El número de Stanton describe el comportamiento oscilatorio de un flujo y relaciona el número de Reynolds y Schmidt mediante las siguientes ecuaciones:

$$St = \frac{J_D}{Sc^{2/3}} \quad (4.73)$$

$$J_D = 0.664 Re^{-0.5} \quad (4.74)$$

Finalmente, el número de Schmidt relaciona la difusión de cantidad de movimiento y la difusión de masa para caracterizar fluidos en los que existen procesos convectivos de las dos clases. Se calcula mediante la ecuación:

$$Sc = \frac{\mu_{aire}}{\rho_{aire} \mathfrak{D}_{ab}} \quad (4.75)$$

La difusividad del agua en el aire,  $\mathfrak{D}_{AB}$ , se calcula con la ecuación 4.54

El cálculo del coeficiente local del sólido,  $k_z$ , implica un proceso iterativo a partir de datos experimentales. En la Sección 5.2.1 se presenta ese cálculo iterativo del coeficiente y en la Sección 5.2.2 una expresión basada en números adimensionales que reproduce adecuadamente los valores de  $k_z$  experimental y será utilizada posteriormente en este modelo.

Por su parte, la pendiente  $m'$  se calcula por medio de la ecuación punto-pendiente:

$$m' = \frac{Z_{w\,int} - Z_w^*}{Y_{w\,int} - Y_{w1}} \quad (4.76)$$

El punto  $P_1(Y_{w\,int}, Z_{w\,int})$  son las concentraciones de interfase y corresponde a la intersección entre la curva de la CDE, cuyos puntos se hallan con la ecuación 4.62, y la línea de fuerza impulsora, cuya ecuación es:

$$Z_W = m_{FI} Y_w + b_{FI} \quad (4.77)$$

La pendiente de la línea de fuerza impulsora,  $m_{FI}$ , se halla a partir de los coeficientes locales del sólido y el gas como:

$$m_{FI} = -\frac{k_y}{k_z} \quad (4.78)$$

El punto de corte de la línea de fuerza impulsora se halla con la ecuación 4.77 y el punto  $P(Y_{w1}, Z_w)$ .

Para el punto  $P_2(Y_{w\,in}, Z_w^*)$ , se tiene a la humedad absoluta de entrada en el eje de abscisas y a la humedad de sólido en equilibrio correspondiente a esa humedad de entrada en el eje de ordenadas.  $Y_{w,1}$  es un dato de entrada al modelo y  $Z_w^*$  se halla con la ecuación 4.62

### 4.7.3. Fracción másica de humedad de aire en base seca

La fracción másica de humedad  $Y_{w1}$  corresponde al porcentaje de humedad en base seca contenido en la corriente de aire de entrada y se calcula como:

$$Y_{w1} = \frac{\mathfrak{M}_{agua}}{\mathfrak{M}_{aire}} \frac{P_{v\ agua}}{P - P_{v\ agua}} \quad (4.79)$$

$P$  es la presión total del sistema y  $P_{v\ agua}$  se refiere a la presión de vapor del agua. La presión total sistema corresponde a la presión de operación, por lo que es una ecuación constitutiva trivial, que la toma igual a la presión atmosférica del lugar, puesto que el ventilador del equipo produce una cabeza de presión muy baja:

$$P = Dato \quad (4.80)$$

La presión de vapor se calcula como:

$$P_{v\ agua} = P_{sat\ T} \frac{\%HR_{in}}{100} \quad (4.81)$$

La presión de saturación del agua se calcula según la ecuación 4.36 y el porcentaje de humedad relativa de la corriente de aire de entrada,  $\%HR$ , es un dato proporcionado por el secador, por lo que tiene ecuación trivial:

$$\%HR = Dato \quad (4.82)$$

### 4.7.4. Flujo másico de aire seco

El flujo másico de aire seco se considera constante en toda la operación de secado y se calcula como:

$$\dot{m}_{as} = \frac{v A_s}{V_H} \quad (4.83)$$

En la cual  $v$  es la velocidad de la corriente de aire,  $A_s$  es el área del secador por la que ingresa el aire y  $V_H$  es el volumen húmedo del aire a la entrada que tiene unidades de  $m^3/kg_{AS}$ . El cálculo de la velocidad del aire y el área del secador se especifican en la sección 4.7.1.

El volumen húmedo del aire dentro del secador y se calcula como (Alvarez, 2011):

$$V_H = (0.00283 + 0.00456 * Y_{w1}) (T_1 + 273.15) \quad (4.84)$$

en la que  $Y_{w1}$  es la fracción másica de agua con base seca en la corriente de entrada calculada con la ecuación 4.79.  $T_1$  es la temperatura de entrada del aire de secado, que tiene ecuación trivial:

$$T_1 = Dato \quad (4.85)$$

#### 4.7.5. Masa de aire seco en $SdeP_I$

La masa de aire seco en  $SdeP_I$  se calcula a partir de la ecuación:

$$M_{asI} = \frac{V_{aire}}{V_H} \quad (4.86)$$

En la cual  $V_H$  es el volúmen húmedo del aire [ $m^3/kg_{as}$ ] calculado con la ecuación 4.84,  $V_{aire}$  es el volumen de aire que se encuentra en el secador y corresponde al volumen del túnel de secado,  $V_t$ , menos el volúmen ocupado por las bandejas,  $V_b$ , suponiendo que la altura del sólido en la badeja es igual a la altura de la bandeja misma.

$$V_{aire} = V_t - 3V_b \quad (4.87)$$

$V_t$  se halla por medio de las dimensiones del túnel de secado mientras que  $V_b$  se halla con las dimensiones de las bandejas.

$$V_t = 0.01586 m^3 \quad (4.88)$$

$$V_b = 6.9723e^{-4} m^3 \quad (4.89)$$

#### 4.7.6. Masa de aire húmedo en $SdeP_I$

La masa de aire húmedo en  $SdeP_I$  se calcula a partir de la ecuación:

$$M_{aI} = V_{aire} \rho_{aire} \quad (4.90)$$

El volumen de aire que se encuentra en el secador se halla con la ecuación 4.87 y la densidad del aire  $\rho_{aire}$  se calcula con la ecuación 4.34

#### 4.7.7. Masa de sólido seco en $SdeP_{II}$

La masa de sólido seco en  $SdeP_{II}$ ,  $M_{ss}$ , se calcula a partir de la expresión:

$$M_{ss} = M_{s0} * w_{ss} \quad (4.91)$$

En la cual  $M_{s0}$  corresponde a la masa de sólido cargado o masa inicial de  $SdeP_{II}$  y  $w_{ss}$  es el porcentaje de sólido seco. Ambos parámetros son datos y tienen ecuaciones triviales:

$$M_{s0,i} = Dato \quad (4.92)$$

$$w_{ss} = Dato \quad (4.93)$$

#### 4.7.8. Calor transferido entre el aire y el sólido

El calor transferido entre el aire y el sólido se calcula por medio de la ecuación:

$$\dot{Q}_{as} = h_H A_H (T_2 - T_s) \quad (4.94)$$

El coeficiente de transferencia de calor  $h_H$  se calcula como:

$$h_H = \frac{C_1 Nu \kappa_{aire}}{L_b} \quad (4.95)$$

en la cual  $Nu$  es el número de Nusselt,  $\kappa_{aire}$  es la conductividad térmica del aire de secado y  $L_b$  es la longitud característica, considerada en este caso como la longitud de una bandeja. La constante  $C_1$  se utiliza como un factor de ajuste entre los resultados del modelo y los datos experimentales para la temperatura de salida del aire, en este caso, su valor final fue de 2.5.

El número de Nusselt se calcula por medio de la ecuación

$$Nu = 0.648 Re^{0.5} Pr^{1/3} \quad (4.96)$$

El número de Reynolds se halla con la ecuación 4.71 y el número de Prandalt se calcula con:

$$Pr = \frac{\hat{C}_{p_{aire}} \mu_{aire}}{\kappa_{aire}} \quad (4.97)$$

en la cual las propiedades del aire de secado son ingresadas como datos y tienen ecuaciones triviales (Cengel & Boles, 2019)

$$\hat{C}_{p_{aire}} = Dato \quad (4.98)$$

$$\mu_{aire} = Dato \quad (4.99)$$

$$\kappa_{aire} = Dato \quad (4.100)$$

El área de transferencia de calor entre el aire y el sólido,  $A_H$ , se aume igual al área de transferencia de masa,  $A_M$  y se calcula con la ecuación 4.43.

#### 4.7.9. Calor transferido entre el aire de secado y los alrededores

Con el fin de analizar la transferencia de calor con los alrededores, para el secador bajo estudio, se consideran por separado la transferecia de calor por las paredes verticales de la que ocurre por las paredes verticales del secador. El término de transferencia de calor con los alrededores es:

$$Q_{\infty} = (h_{Hv,\infty} A_{Hv\infty} + h_{Hh,\infty} A_{Hh\infty}) (T_2 - T_{\infty}) \quad (4.101)$$

El coeficiente de transferencia de calor por medio de las paredes verticales se calcula como:

$$h_{Hv\infty} = \frac{C_2 Nu_v \kappa_{\infty}}{L_c} \quad (4.102)$$

La constante  $C_2$ , cuyo valor encontrado fue de 1.5, se utiliza como factor de ajuste entre los resultados del modelo y los datos experimentales del modelo para el valor de la temperatura de salida del aire,  $L_c$  corresponde a la longitud del túnel de secado y  $\kappa_{\infty}$  es la conductividad del aire a la temperatura ambiente. El número de Nusselt para las paredes verticales se calcula como:

$$Nu_v = \left( 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.429}{Pr_{aire\infty}} \right)^{9/16} \right)^{8/26}} \right)^2 \quad (4.103)$$

El número de Rayleigh se calcula por medio de:

$$Ra = \frac{g \beta (T_{sup} - T_{\infty}) L_c^3 Pr_{aire\infty}}{\nu^2} \quad (4.104)$$

En la cual  $g$  es la gravedad,  $T_{\infty}$  es la temperatura del aire en los alrededores. Durante la operación de secado, la temperatura de operación del equipo se mantiene estable por lo que la temperatura de la superficie  $T_{sup}$ , que corresponde a las paredes del secador, se considera ligeramente menor que la temperatura de aire de secado y se calcula como:

$$T_{sup} = T_2 - 2^\circ C \quad (4.105)$$

El parámetro  $\beta$  es un coeficiente de expansión considerando el aire como gas ideal y depende de la temperatura de los alrededores:

$$\beta = \frac{1}{T_\infty} \quad (4.106)$$

El número del Prandtl del aire en los alrededores se halla por medio de:

$$Pr_{aire\infty} = \frac{\hat{C}_{p\text{aire}\infty} \mu_{aire\infty}}{\kappa_{aire\infty}} \quad (4.107)$$

Las propiedades del aire en los alrededores se calculan a partir de polinomios 4.108 a 4.110, en los cuales los parámetros  $MA_i$ ,  $CA_i$ ,  $KA_i$  son constantes (Tsilingiris, 2008).

$$\mu_{aire\infty} = (MA_0 + MA_1 T_\infty + MA_2 T_\infty^2 + MA_3 T_\infty^3 + MA_4 T_\infty^4) \times 10^{-6}; \quad (4.108)$$

Con  $MA_0 = -9.8601 \times 10^{-1}$ ,  $MA_1 = 9.080125 \times 10^{-2}$ ,  $MA_2 = -1.17635575 \times 10^{-4}$ ,  $MA_3 = 1.2349703 \times 10^{-7}$  y  $MA_4 = -5.7971299 \times 10^{-11}$ .

$$\kappa_{aire\infty} = KA_0 + KA_1 T_\infty + KA_2 T_\infty^2 + KA_3 T_\infty^3 + KA_4 T_\infty^4 + KA_5 T_\infty^5 \quad (4.109)$$

En la que  $KA_0 = -2.276501 \times 10^{-3}$ ,  $KA_1 = 1.2598485 \times 10^{-4}$ ,  $KA_2 = -1.4815235 \times 10^{-7}$ ;  $KA_3 = 1.73550646 \times 10^{-10}$ ;  $KA_4 = -1.066657 \times 10^{-13}$  y  $KA_5 = 2.47663035 \times 10^{-17}$ .

$$\hat{C}_{p\text{aire}\infty} = (CA_0 + CA_1 T_\infty + CA_2 T_\infty^2 + CA_3 T_\infty^3 + CA_4 T_\infty^4) * 1000; \quad (4.110)$$

Con  $CA_0 = 0.103409 \times 10^1$ ,  $CA_1 = -0.284887 \times 10^{-3}$ ,  $CA_2 = 0.7816818 \times 10^{-6}$ ,  $CA_3 = -0.4970786 \times 10^{-9}$  y  $CA_4 = 0.1077024 \times 10^{-12}$ .

Se consideran dos paredes verticales cuya área se calcula con base en las dimensiones del túnel de secado. En una de las paredes se cuenta con una puerta de material aislante por la que se introducen las bandejas, se elimina un tercio del área total de la pared para compensar. El área de transferencia de calor por las paredes verticales se calcula como:

$$A_v = h_t l_t - \frac{2}{3} h_t l_t \quad (4.111)$$



El coeficiente de transferencia de calor por efecto de las paredes horizontales es:

$$h_{Hh\infty} = \frac{Nu_h \kappa_\infty}{L_c} \quad (4.112)$$

en la cual el número de Nusselt se halla por medio de la ecuación:

$$Nu_{h\infty} = 0.27 Ra^{1/4} \quad (4.113)$$

en la que el número de Rayleigh se halla con la ecuación 4.104. Solo se considera una pared horizontal y su área de transferencia correspondiente se halla a partir de las dimensiones del secador como:

$$A_{Hh} = 0.39092 m^2 \quad (4.114)$$

#### 4.7.10. Entalpía de vaporización

La entalpía de vaporización del agua se halla como:

$$H_{vap} = Cp_w T_2 + \lambda_v \quad (4.115)$$

en la cual  $\lambda_v$  es el calor latente de vaporización del agua y se calcula con la ecuación 4.116 (Datt, 2011). En esta ecuación  $\lambda_v$  está en  $\frac{BTU}{lbm}$  y la presión del sistema  $P$  en  $psia$ , por lo que se deben realizar las conversaciones de unidades al sistema internacional:

$$\lambda_v = \frac{10057.5}{P + 63.112} + 850.418 - 0.21401 P - 0.71226x10^{-4} P^2 + 0.95712x10^{-7} P^3 \quad (4.116)$$

La capacidad calorífica del agua se ingresa como dato por lo que tiene ecuación trivial:

$$\hat{C}_{pw} = Dato \quad (4.117)$$

Ya no quedan más parámetros por determinar en el modelo, con lo cual la estructura extendida del modelo está completa y, por tanto, el modelo está listo para su uso.



---

---

## Metodología para la formulación del coeficiente local de TdeM del sólido

---

---

Después de realizar el tratamiento de datos experimentales para el secado de tomate en rodajas y del desarrollo del MSBF para el proceso de secado en bandejas, en la Sección 5.1 se presenta la metodología propuesta para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido para el proceso de secado. En la Sección 5.2 se muestra la manera en que se aplicó cada paso para el secado de tomate en rodajas y en la Sección 5.3 se reportan los resultados obtenidos al aplicar cada uno de los pasos a partir de datos experimentales. Esta metodología que se propone es general, por lo que puede usarse para otros sólidos siguiendo los pasos aquí establecidos.

### 5.1. Metodología propuesta para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa

Se requiere una metodología para calcular este coeficiente local puesto que en la literatura no se encuentran correlaciones que permitan llegar a su valor. La metodología que se propone en esta tesis consta solamente de cuatro pasos, los cuales se enlistan a continuación:

1. Calcular experimentalmente el coeficiente local de transferencia de masa en la etapa de secado con velocidad de secado decreciente. Se limita a esta etapa puesto que el agua de encharcamiento que tiene el sólido al principio sale por evaporación. Para esa etapa existen formulaciones para evaluar el coeficiente de evaporación (Li & Duncan, 2008; Palencia et al., 2002). La formulación empleada en (Li & Duncan, 2008) es la que se usa en el simulador completo del proceso de secado de esta tesis.

2. Obtener la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido basada en números adimensionales y utilizando propiedades del sólido que puedan afectar dicho coeficiente.
3. Identificar los parámetros necesarios para ajustar el coeficiente de la formulación propuesta en el numeral anterior a partir de los datos experimentales.
4. Validar la expresión del coeficiente local por medio de la comparación entre los datos experimentales y los obtenidos en el modelo semifísico de base fenomenológica del proceso de secado.

## 5.2. Aplicación de metodología al secado de tomate

Con el fin de clarificar los pasos de la metodología propuesta, a continuación se aplican al proceso de secado de rodajas de tomate en bandejas en un túnel de secado a escala de laboratorio.

### 5.2.1. Cálculo experimental del coeficiente local de transferencia de masa del sólido $k_z$

Una vez realizado el tratamiento de los datos experimentales y obtenida la línea de operación mostrada en la Sección 3.4.5, se realiza un proceso gráfico-iterativo con el objetivo de obtener el valor numérico del coeficiente local de transferencia de masa en la etapa de velocidad de secado decreciente. El proceso gráfico-iterativo usando la CDE, consta de los siguientes pasos:

1. Se inicia con los datos de entrada para cada paso de tiempo, que son los valores experimentales de fracción de humedad en base seca de aire ( $Y_w$ ) y sólido ( $Z_w$ ), además del valor del flux másico,  $M_A$ , calculado como se muestra en la Sección 3.4.4.
2. Calcular el valor semilla de la pendiente de la línea de fuerza impulsora,  $m_{FI}$ , utilizando la ecuación punto-pendiente:

$$m_{FI} = \frac{Z_{w,1} - Z_{w,2}}{Y_{w,1} - Y_{w,2}} \quad (5.1)$$

en la cual  $Z_{w,j}$  y  $Y_{w,j}$  son las fracciones de humedad del sólido y aire, respectivamente, en el tiempo actual. Los subíndices 1 y 2 corresponden a las condiciones de entrada y salida de las fases en el túnel de secado. El SCADA del secador entrega valores de las concentraciones del aire,  $Y_{w,j}$ , y de una concentración del sólido en cada paso de tiempo. Este dato se supone como concentración de entrada  $Z_{w,1}$  y se halla  $Z_{w,2}$  como:

$$Z_{w,2} = Z_{w,1} - t_s \frac{Z_w(t) - Z_w(t+1)}{t_m} \quad (5.2)$$

en la que  $t_s$  es el tiempo que el aire demora en recorrer la longitud de las bandejas y  $t_m$  es el tiempo de muestreo del SCADA. Cabe aclarar que esta suposición se hace para hallar el valor semilla de la pendiente de la línea de fuerza impulsora al inicio del proceso iterativo.

3. Calcular el punto de intersección,  $b_{FI}$ , de la ecuación de la recta de la línea de fuerza impulsora con el eje  $y$  por medio de la ecuación:

$$b_{FI} = Z_{w,1} - m_{FI} Y_{w,1} \quad (5.3)$$

4. Calcular el coeficiente local del transferencia de masa del aire como:

$$k_y = \frac{Sh \mathcal{D}_{aw}}{L} \quad (5.4)$$

en la cual  $Sh$  es el número de Sherwood,  $\mathcal{D}_{aw}$  es la difusividad del agua en el aire y  $L$  es la longitud característica en la que se da la transferencia de masa, que en este caso corresponde a la longitud de bandeja.

5. Calcular el coeficiente local del sólido como:

$$k_z = -\frac{k_y}{m_{FI}} \quad (5.5)$$

El signo menos ( $-$ ) se hereda de la fórmula de la pendiente de la fuerza impulsora, ya que siempre  $m_{FI}$  es negativa.

6. Hallar el punto de intersección entre la línea de fuerza impulsora y la curva de distribución de equilibrio (CDE). Este punto corresponde a las concentraciones de interfase ( $Y_{w,int}$ ,  $Z_{w,int}$ ). La ecuación de la línea de fuerza impulsora para cada tiempo es:

$$Z_w = m_{FI} Y_w + b_{FI} \quad (5.6)$$

mientras que la CDE se halla por medio de la ecuación de GAB, ecuación 2.6, recordando que se debe realizar la conversión de actividad de agua a humedad absoluta del aire descrita en la Sección 2.4 .

7. Calcular la pendiente  $m'$  por medio de la ecuación punto-pendiente. El punto  $P_1(Y_{w,int}, Z_{w,int})$  corresponde a las concentraciones de interfase encontrados en el numeral anterior. Para el punto  $P_2(Y_{w,1}, Z_w^*)$  se conoce la humedad de entrada del aire  $Y_{w,1}$  y se calcula la humedad de equilibrio del sólido correspondiente por medio de la ecuación de la CDE.

8. Calcular el coeficiente englobante del sólido por medio de la ecuación:

$$K_{z,it} = \frac{1}{\frac{1}{k_z} + \frac{m'}{k_y}} \quad (5.7)$$

9. Hallar el flux másico de agua transferida como:

$$M_{A,it} = \rho_{ss} K_{z,it} (Z_w - Z_w^*) \quad (5.8)$$

en la que  $\rho_{ss}$  es la densidad de sólido seco,  $Z_w$  es la fracción de humedad del sólido en el paso de tiempo actual y  $Z_w^*$  la fracción de humedad proyectada de sólido en equilibrio con el aire de entrada.

10. Verificar que la diferencia del flux experimental,  $M_A$ , y el calculado con la iteración,  $M_{A,it}$  no supere la tolerancia especificada. Si no supera la tolerancia se almacena el valor del coeficiente local ( $k_z$ ) y se continúa con el siguiente paso de tiempo. Si se supuera la tolerancia se ajusta el valor de la pendiente de la línea de fuerza impulsora y se vuelve al paso 3. Se repite hasta lograr el nivel de tolerancia.

### 5.2.2. Formulación del coeficiente aplicando el teorema $\pi$ -Buckingham

La formulación del coeficiente local del transferencia de masa para la fase sólida se realiza por medio del teorema  $\pi$ -Buckingham. El procedimiento se describe a continuación.

1. Enlistar las variables involucradas con sus unidades y dimensiones. Se seleccionaron variables que potencialmente pueden influir en el coeficiente local del sólido. Dentro de estas variable se encuentra la velocidad del aire por su efecto en la renovación del aire de secado y garantizar que este no se sature dentro del equipo, la difusividad efectiva del sólido, que da cuenta de la difusión del vapor de agua dentro del sólido poroso, y el espesor del sólido que depende de la humedad del mismo.
2. Definir el número de grupos adimensionales independientes,  $N_P$ , necesarios para expresar la cantidad de interés, usando:

$$N_P = N_V - N_D \quad (5.9)$$

Se tienen cuatro variables,  $N_V = 4$ , y dos dimensiones,  $N_D = 2$ , por lo tanto se necesitan dos términos adimensionales independientes para representar el coeficiente local del sólido.

TABLA 5.1. Variables seleccionadas para el teorema  $\pi$ -Buckingham.

Variable	Símbolo	Unidad	Dimensión
Velocidad del aire	$v_{air}$	$m/s$	$LT^{-1}$
Difusividad efectiva del agua en el sólido	$\mathfrak{D}_{eff}$	$m^2/s$	$L^2 T^{-1}$
Espesor de rodaja	$e$	$m$	$L$
Coficiente local de transferencia de masa del sólido	$k_z$	$m/s$	$LT^{-1}$

3. Aplicar el algoritmo de Rayleigh para determinar los términos adimensionales. Para esto, a la variable de interés, en este caso  $k_z$ , se le asigna exponente 1 en el producto adimensional  $k_z \mathfrak{D}_{eff}^\alpha e^\beta v_{air}^\gamma$ . Para hallar los exponentes que ajusten el producto adimensional se tiene:

$$1 = k_z \mathfrak{D}_{eff}^\alpha e^\beta v_{air}^\gamma \quad (5.10)$$

$$L^0 T^0 = (LT^{-1}) (L^2 T^{-1})^\alpha L^\beta (LT^{-1})^\gamma \quad (5.11)$$

en la que en términos comunes se llega a:

$$1 = L^{1+2\alpha+\beta} T^{-1-\alpha-\gamma} \quad (5.12)$$

Los exponentes deben ser las soluciones del sistema:

$$L : 0 = 1 + 2\alpha + \beta + \gamma \quad (5.13)$$

$$T : 0 = -1 - \alpha - \gamma \quad (5.14)$$

Al resolver el sistema se tiene que:

$$\beta = -\alpha \quad (5.15)$$

$$\gamma = -1 - \alpha \quad (5.16)$$

El producto adimensional es:

$$1 = k_z (\mathfrak{D}_{eff})^\alpha L^{-\alpha} (v_{air})^{-1-\alpha} \quad (5.17)$$

$$1 = \left( \frac{k_z}{v_{air}} \right) \left( \frac{\mathcal{D}_{eff}}{L v_{air}} \right)^\alpha \quad (5.18)$$

Por lo tanto, los dos grupos adimensionales obtenidos son  $k_z/v_{air}$  y  $\mathcal{D}_{eff}/(e v_{air})$ . Finalmente se tiene:

$$k_z = v_{air} \left( \frac{\mathcal{D}_{eff}}{L v_{air}} \right)^{-\alpha} \quad (5.19)$$

en el cual  $\alpha$  es una constante y debe ser identificada paraméricamente para que los valores calculados con la ecuación 5.19 se ajusten a los valores experimentales del coeficiente  $k_z$ . Se resalta que no se toma la deducción inmediata de  $\alpha = 1$ , para luego verificar experimentalmente el valor de este coeficiente.

### 5.2.3. Identificación de los parámetros obtenidos en la formulación usando números adimensionales

Con el fin de acelerar los ensayos, considerando que solo hay un parámetro por identificar y la búsqueda podría hacerse manualmente, en la identificación paramétrica se utiliza el algoritmo de quimiotactismo bacteriano. Este algoritmo permite encontrar soluciones óptimas de una función objetivo específica imitando los movimientos típicos de una colonia de bacterias dentro de un caldo de cultivo. Esos movimientos siempre van hacia las zonas de mayor concentración.

La función objetivo en este caso corresponde a la diferencia en valor absoluto, para cada paso de tiempo, entre el valor del coeficiente local de transferencia de masa experimental del sólido, hallado en la iteración,  $k_{zit}$ , de la Sección 5.2.1 con el valor calculado a partir de la formulación obtenida por el teorema  $\pi$ -Buckingham, ecuación 5.19. El objetivo es identificar el valor del parámetro  $\alpha$  en la ecuación 5.19 que minimice la diferencia entre el valor de los coeficiente mencionados.

$$f(\alpha) = \left| k_{zit} - v_{air} \left( \frac{\mathcal{D}_{eff}}{L v_{air}} \right)^{-\alpha} \right| \quad (5.20)$$

### 5.2.4. Validación de la formulación en MSBF del proceso de secado

Una vez identificado el valor de  $\alpha$ , se introduce la expresión en la ecuación 4.67 del MSBF desarrollado en la Sección 4. La variables de entrada entregadas son condiciones de temperatura, velocidad y humedad absoluta de entrada del aire, además de la masa de sólido inicial. Dentro de las variables de salida que entrega el modelo son de interés para la comparación con datos experimentales: fracción de vapor de agua en base seca de aire y sólido,  $Y_w$  y  $Z_w$ , respectivamente, y temperatura de salida del aire,  $T_2$ .



## 5.3. Resultados de la aplicación de la metodología al secado de tomate

A continuación se muestra la aplicación de cada uno de los pasos de la metodología propuesta al caso de secado de tomate. Como ya se dijo, esta metodología es general y aplicable al secado de cualquier sólido, con el fin de encontrar una formulación para el coeficiente local de transferencia de masa para la fase sólida.

### 5.3.1. Cálculo experimental del coeficiente local de transferencia de masa del sólido $k_z$

Siguiendo el proceso iterativo descrito en la Sección 5.2.1, para el conjunto de datos 1 de secado de tomate en rodajas mostrado en Capítulo 3, se presentan los resultados del proceso iterativo en el cálculo del coeficiente local de transferencia de masa. Este cálculo solo tiene sentido en la etapa con velocidad de secado decreciente, es decir, después que el sólido alcanza la humedad crítica. Sin embargo, se reitera que en el simulador está programada también la etapa de evaporación de agua de encharcamiento. Cabe resaltar que, si bien el tiempo de muestreo para los conjunto de datos bajo estudio fue de un (1) minuto, el cálculo de  $k_z$  se realizó punto a punto y sus unidades son  $m/s$  porque las hereda, como se muestra la ecuación 5.5, del la correlación del coeficiente  $k_y$ .

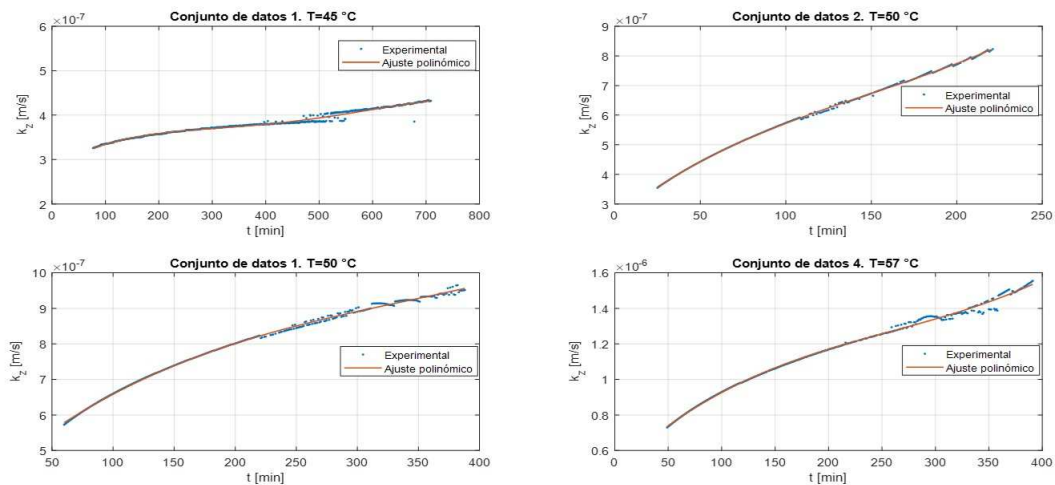


FIGURA 5.1. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido obtenido en proceso iterativo.

En la Figura 5.1 se muestra el valor del coeficiente que resulta de la iteración para cada conjunto de datos. Como se observa en la figura, el valor del coeficiente aumenta a medida que avanza el tiempo. El coeficiente local es proporcional a la velocidad con la que se desplaza el vapor de agua dentro de los poros del sólido hasta la interfase con el aire. Si bien a medida que aumenta el tiempo de secado

disminuye la humedad del sólido disponible a ser removida, también se presenta una disminución del espesor de las rodajas y una dilatación de los poros internos, lo que implicaría un menor tiempo en que el vapor de agua llega a la superficie y por ende un mayor coeficiente. Se observa además, que existe una variabilidad en los valores del coeficiente  $k_z$  para los diferentes experimentos, esta variabilidad se le puede atribuir a la temperatura del aire de secado que cambia de un conjunto de datos a otros, afectando las propiedades del aire y la temperatura del sólido. Se resalta que los conjuntos de datos 2 y 3 tenían condiciones parecidas de temperatura y velocidad de entrada del aire y, a pesar de tener una diferencia de aproximadamente  $0.5kg$  en la masa inicial de sólido húmedo, los valores del coeficiente  $k_z$  se encuentran en un intervalo similar confirmando el efecto de la temperatura sobre  $k_z$ . A pesar de la influencia de la temperatura en el valor de  $k_z$ , no se incluye como variable en la aplicación del teorema  $\pi$ -Buckingham por análisis de unidades y porque el valor de la difusividad efectiva,  $D_{eff}$ , depende de la temperatura, teniendo así un efecto indirecto de esta variable sobre la formulación propuesta en la ecuación 5.19.

Como se mencionó en la Sección 5.2.1, el parámetro de convergencia para la iteración gráfica sobre la CDE fue la diferencia en valor absoluto entre el flux másico calculado y el experimental. Para el caso de estudio, se fijó una tolerancia de  $1 \times 10^{-4}$  considerado que, en general para todos los conjuntos de datos, estuvo al rededor de  $1 \times 10^{-3}kg_w/m^2.s$ . En la Figura 5.2 se presenta la comparación entre los fluxes mencionados. Allí se puede observar que en todos los casos el valor del coeficiente hallado por medio del proceso iterativo permite un ajuste adecuado del flux de transferencia de masa experimental.

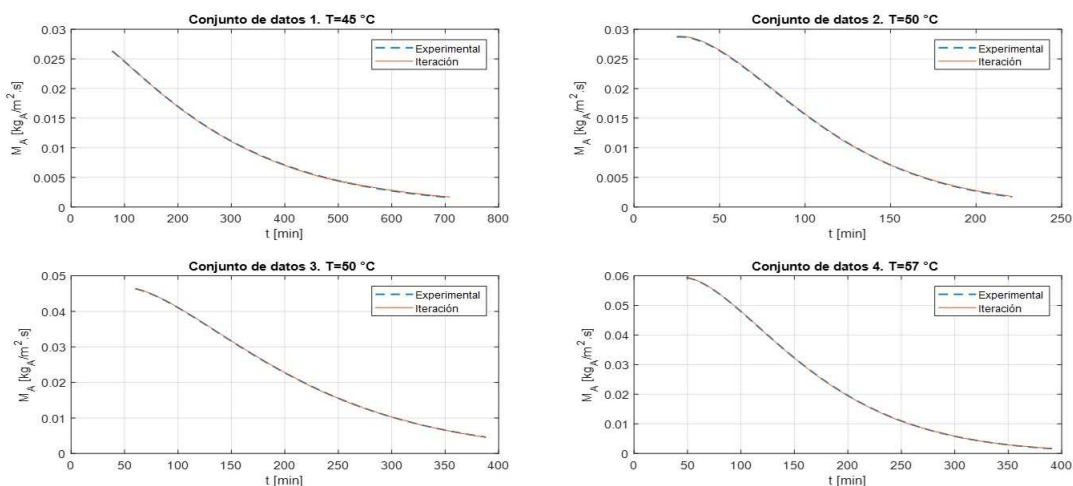


FIGURA 5.2. Comparación entre el flux másico de transferencia de humedad experimental y el obtenido con el proceso iterativo.

### 5.3.2. Formulación del coeficiente aplicando el teorema $\pi$ -Buckingham

La formulación obtenida para el coeficiente  $k_Z$  a partir del teorema  $\pi$ -Buckingham mostrada en la ecuación 5.19 requiere de valores de difusividad efectiva  $\mathfrak{D}_{eff}$  y del espesor de la rodaja. La difusividad efectiva se calcula a partir de la difusividad molecular del agua en el aire que está llenando los poros  $\mathfrak{D}_{AB}$ , la difusividad de Knudsen  $\mathfrak{D}_{Knudsen}$  y la difusividad superficial  $\mathfrak{D}_{Sup}$ , según la fórmula:

$$\frac{1}{\mathfrak{D}_{eff}} = \frac{1}{\mathfrak{D}_{AB}} + \frac{1}{\mathfrak{D}_{Knudsen}} + \frac{1}{\mathfrak{D}_{Sup}} \quad (5.21)$$

Todas las difusividades tienen unidad de  $m/s$ .  $\mathfrak{D}_{AB}$  se calcula por medio de la ecuación 4.54 presentada en el desarrollo del MSBF, Capítulo 4.  $\mathfrak{D}_{Knudsen}$  representa la difusividad del vapor de agua dentro los poros del sólido y se puede calcular como (Welty et al., 2007):

$$\mathfrak{D}_{Knudsen} = 0.4850 D_{poro} \sqrt{\frac{T}{\mathfrak{M}_w}} \quad (5.22)$$

en la cual  $T$  es la temperatura en  $K$  y  $\mathfrak{M}_w$  es la masa molecular del agua en  $g/mol$ .

La difusividad superficial  $\mathfrak{D}_{Sup}$ , despejada de la ecuación 5.21, en la cual  $\mathfrak{D}_{eff}$  fue hallada utilizando la definición teórica del coeficiente  $k_z$ , ecuación 2.9, y los valores experimentales disponibles en esta tesis del mismo coeficiente, por medio de la ecuación:

$$\mathfrak{D}_{eff} = k_{zit} * e * z_{BM} \quad (5.23)$$

con  $z_{BM}$  la diferencia media logarítmica de concentraciones del solvente B en la fase, en este caso, la concentración másica de la matriz sólida en la rodaja y se puede calcular con la ecuación:

$$z_{BM} = \frac{z_{B2} - z_{B1}}{\ln\left(\frac{z_{B2}}{z_{B1}}\right)} \quad (5.24)$$

en la que  $z_{B2}$  es la fracción másica de solvente en la superficie de la rodaja y  $z_{B1}$  la concentración en el fondo de la misma. Se consideró una diferencia de concentraciones entre el fondo y la superficie del 7%, teniendo en cuenta que las rodajas tienen espesores de aproximadamente  $6mm$  al inicio del secado y que este va disminuyendo a lo largo del proceso hasta llegar a valores cercanos a  $1mm$ . Para los conjuntos de datos bajo estudio, se encontró que, si bien  $\mathfrak{D}_{sup}$  era aproximadamente constante, si hay variación en su valor como función de la temperatura. En la Tabla 5.2 se presentan los valores de  $\mathfrak{D}_{sup}$  obtenidos. En la identificación paramétrica

que se mostrará en la Sección 5.3.3 se utiliza el valor de  $\mathfrak{D}_{sup}$  correspondiente a cada temperatura de secado. En este punto se resalta que trabajos futuros estarían orientados a investigar más a fondo la relación de la difusividad superficial con la temperatura de secado. Es evidente en la tabla que a mayor temperatura se tiene mayor valor de esta difusividad.

TABLA 5.2. Difusividad superficial para tomate a diferentes temperaturas.

Experimento	Temperatura de secado [°C]	Difusividad superficial [ $m^2/s$ ]
1	45	$2.23 \times 10^{-10}$
2	50	$3.76 \times 10^{-10}$
3	50	$4.76 \times 10^{-10}$
4	57	$9.21 \times 10^{-10}$

Por su parte, el espesor de la rodaja de tomate se calculó como función de la fracción de humedad del sólido  $Z_w$  a partir de mediciones experimentales (ver Anexos) de masa del sólido y espesor de rodaja, obteniéndose la siguiente función en la cual el espesor tiene como unidad metros [ $m$ ]:

$$e = -7 \times 10^{-6} Z_w^2 + 0.0003 * Z_w + 0.0024 \quad (5.25)$$

siendo  $Z_w$  la humedad del tomate en cada instante.

### 5.3.3. Identificación de los parámetros obtenidos en la formulación usando números adimensionales

La identificación del exponente  $\alpha$  obtenido en la formulación del coeficiente  $k_z$  se realizó por medio del algoritmo de quimiotactismo bacteriano, obteniendo  $\alpha = -0.914$ . En la Figura 5.3 se presenta la comparación entre el valor del coeficiente  $k_z$  hallado con la iteración con el valor calculado con la formulación del coeficiente propuesta aquí, para el conjunto de datos 3. El ajuste del coeficiente  $k_z$  se obtiene con errores de hasta del 30 % con respecto al valor de  $k_z$ , obtenido de datos experimentales para los cuatro conjuntos de datos. Lo anterior indica que deben realizarse modificaciones a la expresión 5.19 para mejorar el ajuste del coeficiente  $k_z$  con los datos experimentales.

Se recuerda que la idea central del teorema  $\pi$ -Buckingham es representar una variable de interés como un productos de términos adimensionales, por lo que se decide modificar la expresión 5.19 como se presenta en la ecuación 5.26.

$$k_z = v_{air} \left( \frac{\mathfrak{D}_{eff}}{v_{air} e} \right)^{-\alpha} (Z_w)^\beta \quad (5.26)$$

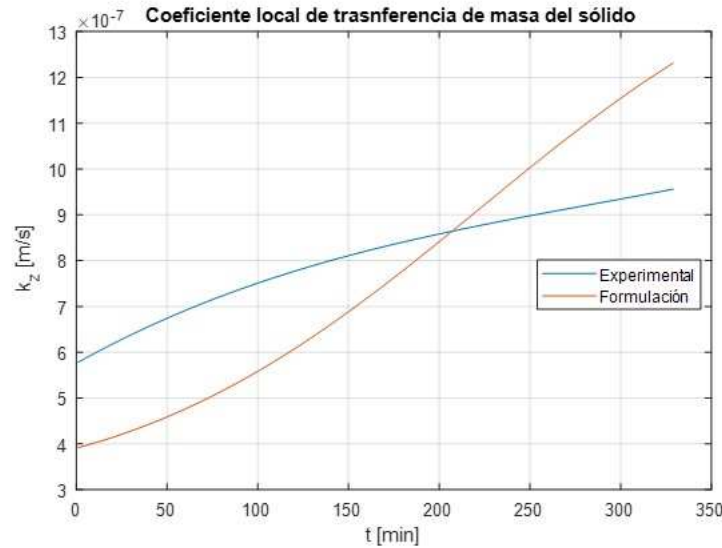


FIGURA 5.3. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido real y estimado para el conjunto de datos 3.

La decisión de agregar el término  $Z_w$  se da por ser una cantidad adimensional, por ser propiedad del sólido y porque la variación que tiene  $Z_w$  a lo largo proceso permite ajustar la curvatura inversa que presentan los valores del coeficiente  $k_z$  calculados con respecto a los valores experimentales. Cabe señalar que la cantidad  $Z_w$  no se incluyó inicialmente como variable en el desarrollo del teorema  $\pi$ -Buckingham precisamente por ser un término adimensional y cuyo exponente, automáticamente, se convertía en cero (0) al aplicar el teorema. Para la expresión 5.26 se realizó la identificación paramétrica utilizando el algoritmo de quimiotactismo bacteriano, obteniendo como valores promedio  $\alpha = -0.9212$  y  $\beta = 0.2671$ . Con estos valores, la expresión propuesta en esta tesis para el coeficiente local de transferencia de masa para el sólido  $k_z$  es:

$$k_z = v_{air} \left( \frac{\mathcal{D}_{eff}}{v_{air} e} \right)^{0.9212} (Z_w)^{0.2671} \quad (5.27)$$

En las Figuras 5.4 a 5.7 se presentan los resultados obtenidos para cada conjunto de datos así como la comparación de la humedad del sólido en base seca obtenida al incluir la ecuación 5.27 en el MSBF presentado en la Sección 4. Se recuerda que aquí solo se presenta la etapa de velocidad de secado decreciente en la que se presenta la transferencia de masa y por consiguiente el tiempo inicial en las Figuras 5.4 a 5.7 equivale al tiempo en que se alcanza la humedad crítica del sólido,  $Z_{wc}$  del proceso real para cada conjunto de datos. De las Figuras 5.4 a 5.7 se concluye que a pesar que los valores del  $k_z$  hallados con la formulación propuesta no ajustan del todo los valores experimentales, en general, para todos los conjuntos de datos se obtienen porcentajes de error menores al 10%. Además se resalta que al incluir la expresión en el MSFB se obtiene una buena reproducción de la curva de secado en cada caso.

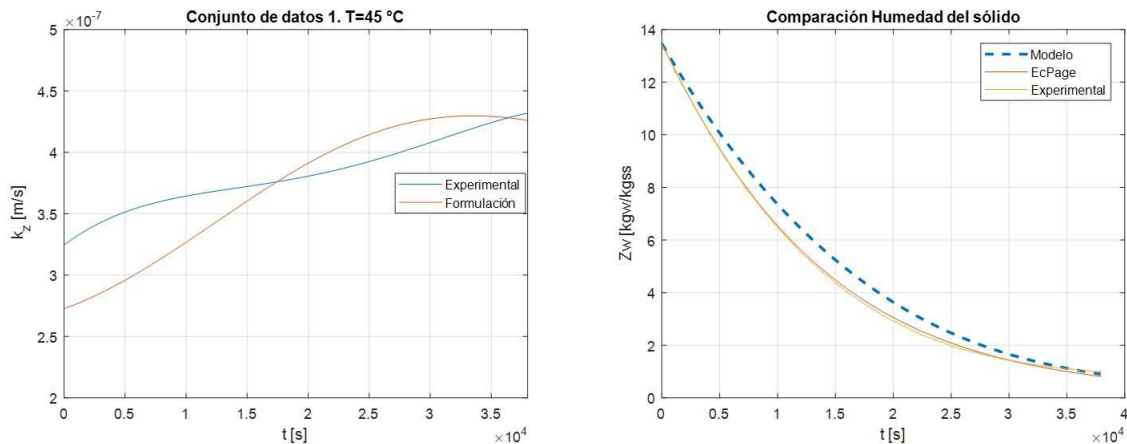


FIGURA 5.4. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de  $k_z$  propuesta. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 1.

En la próxima sección se muestra la validación de la expresión 5.27 para cada corrida experimental.

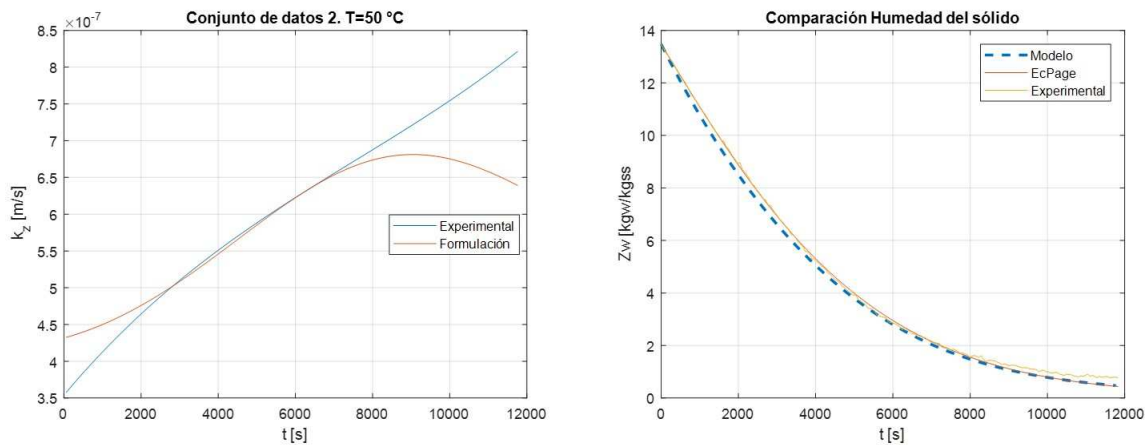


FIGURA 5.5. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de  $k_z$  propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 2.

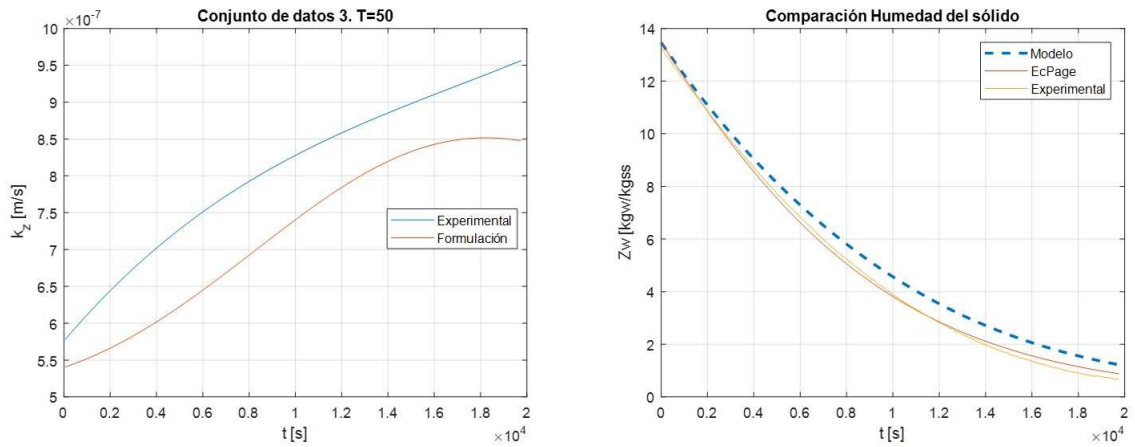


FIGURA 5.6. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de  $k_z$  propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 3.

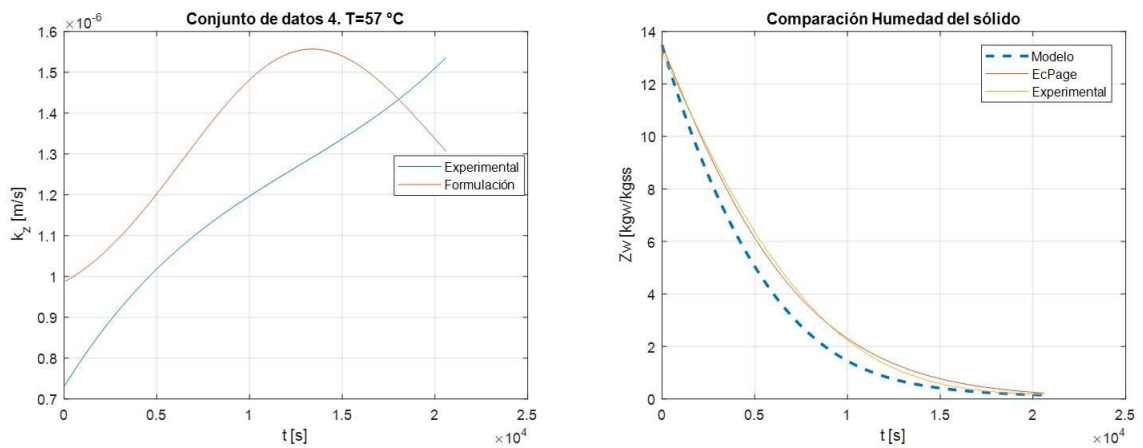


FIGURA 5.7. Comparación de datos experimentales y obtenidos utilizando la formulación de  $k_z$  propuesta, ecuación 5.27. Coeficiente local de transferencia de masa del sólido a la derecha. Contenido de humedad en base seca de sólido a la derecha para conjunto de datos 4.

### 5.3.4. Validación de la formulación en MSBF del proceso de secado

Finalmente, se presenta la validación de la formulación propuesta introduciendo la expresión del coeficiente  $k_z$ , ecuación 5.27, dentro del modelo propuesto en el Capítulo 4. Para determinar el grado de ajuste del modelo se calcula el error porcentual absoluto medio (MAPE por sus siglas en inglés). MAPE indica, en promedio, cuánto es el porcentaje de error de cada predicción con respecto al valor experimental y se calcula como:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (5.28)$$

en la cual  $y_i$  corresponde al valor experimental,  $\hat{y}_i$  es el valor predicho por el modelo y  $n$  es el número de datos.

En las Figuras 5.9 a 5.10 se observa el resultado del modelo para las variables de interés. En la Tabla 5.3 se presenta el error porcentual promedio para cada variable de interés en cada conjunto de datos evaluado. Se observa que el valor de MAPE para la fracción de humedad y temperatura del aire de salida es menor al 1.5% para todos los conjuntos de datos evaluados, indicando que se tiene una muy buena predicción del modelo ante esas variables. Con respecto a la fracción de humedad del sólido, se obtienen valores para MAPE entre 9.5% y 26% para todos los conjuntos de datos, esto es consistente con lo observado en la Figura 5.8 de la cual se puede concluir que el modelo tiene buena representación de los datos experimentales ante la variable de fracción de humedad del sólido. En general, se concluye que el modelo tiene buen ajuste con los datos experimentales para la etapa con velocidad de secado decreciente del proceso de secado en la que se presentan los fenómenos combinados de transferencia de masa y calor. El buen ajuste del modelo permite validar la formulación propuesta para el coeficiente local de transferencia de masa para el sólido para diferentes condiciones de operación. Cabe señalar que el éxito del ajuste del modelo se debe al nivel de detalle de las ecuaciones utilizadas en su estructura para representar el proceso bajo estudio.

TABLA 5.3. Error porcentual absoluto medio

Experimento	$MAPE_{Zw}$	$MAPE_{Yw}$	$MAPE_{T2}$
1	14.3	0.3	1.3
2	9.5	0.5	0.7
3	26.0	0.4	0.7
4	22.4	1.3	1.3



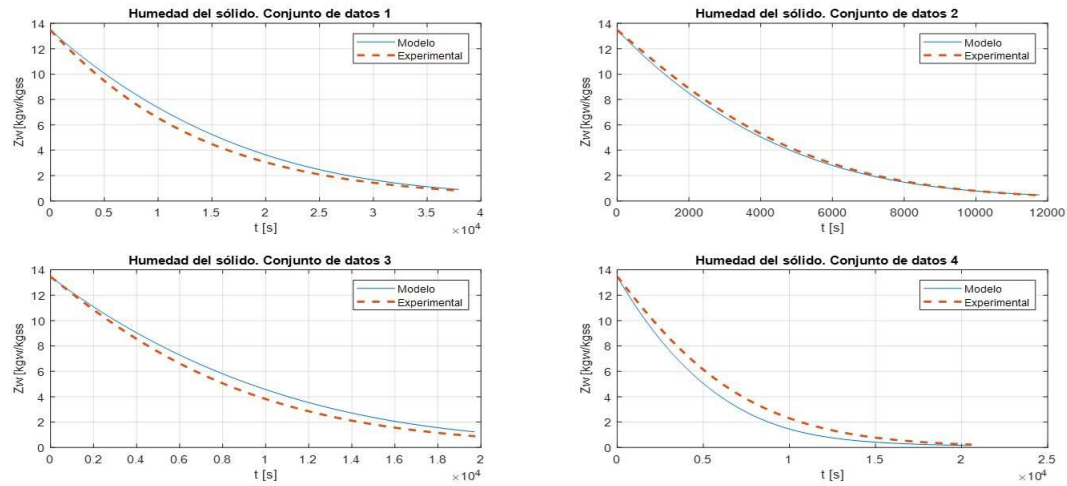


FIGURA 5.8. Cambio en el tiempo de la fracción de humedad del sólido durante todo el secado.

Finalmente, se presenta la validación para el conjunto de datos 5 al cual no se le aplicó el tratamiento mostrado en el capítulo 3 ni se incluyó en la identificación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . El set de datos 5 tenía una temperatura de entrada del aire de  $45[^\circ\text{C}]$ , una velocidad del aire de  $0.54\text{m/s}$  y masa inicial de sólido  $0.42\text{kg}$ . Para calcular el valor de la difusividad superficial, se hizo un ajuste lineal en función de la temperatura a partir de los datos presentados en la Tabla 5.2. Los resultados del modelo al aplicar la formulación propuesta de  $k_z$ , ecuación 5.27, se presentan en la Figura 5.11. Al calcular el error porcentual promedio se obtuvo un valor de  $29.67\%$  para la fracción de humedad del sólido,  $2.3\%$  para la fracción de humedad de aire de salida y  $2.2\%$  para la temperatura. Si bien estos valores son mayores que los reportados en la Tabla 5.3, se puede afirmar que el modelo sigue teniendo una buena representación de los datos experimentales. La búsqueda de mejoras en la predicción del modelo se puede orientar a encontrar la relación entre la difusividad superficial del sólido y la temperatura porque esta propiedad influye en el valor del coeficiente local de transferencia de masa  $k_z$  y, por ende, en los resultados del modelo.

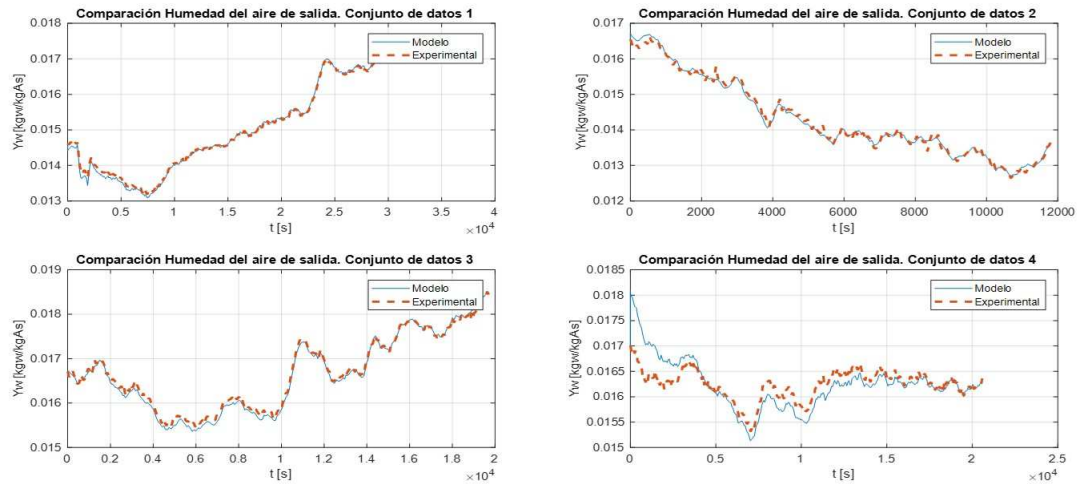


FIGURA 5.9. Evolución de la fracción de humedad del aire de salida durante todo el secado.

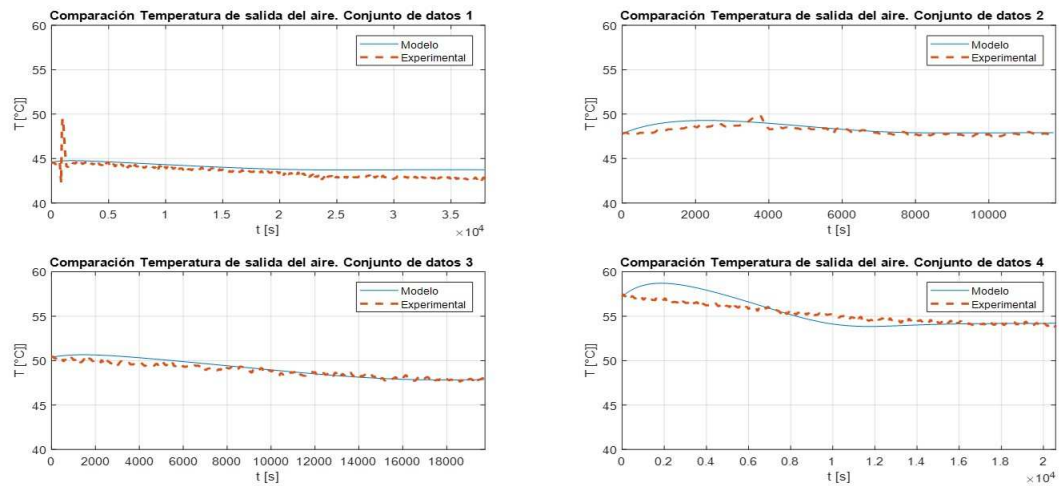


FIGURA 5.10. Cambio de la temperatura del aire de salida durante el secado.

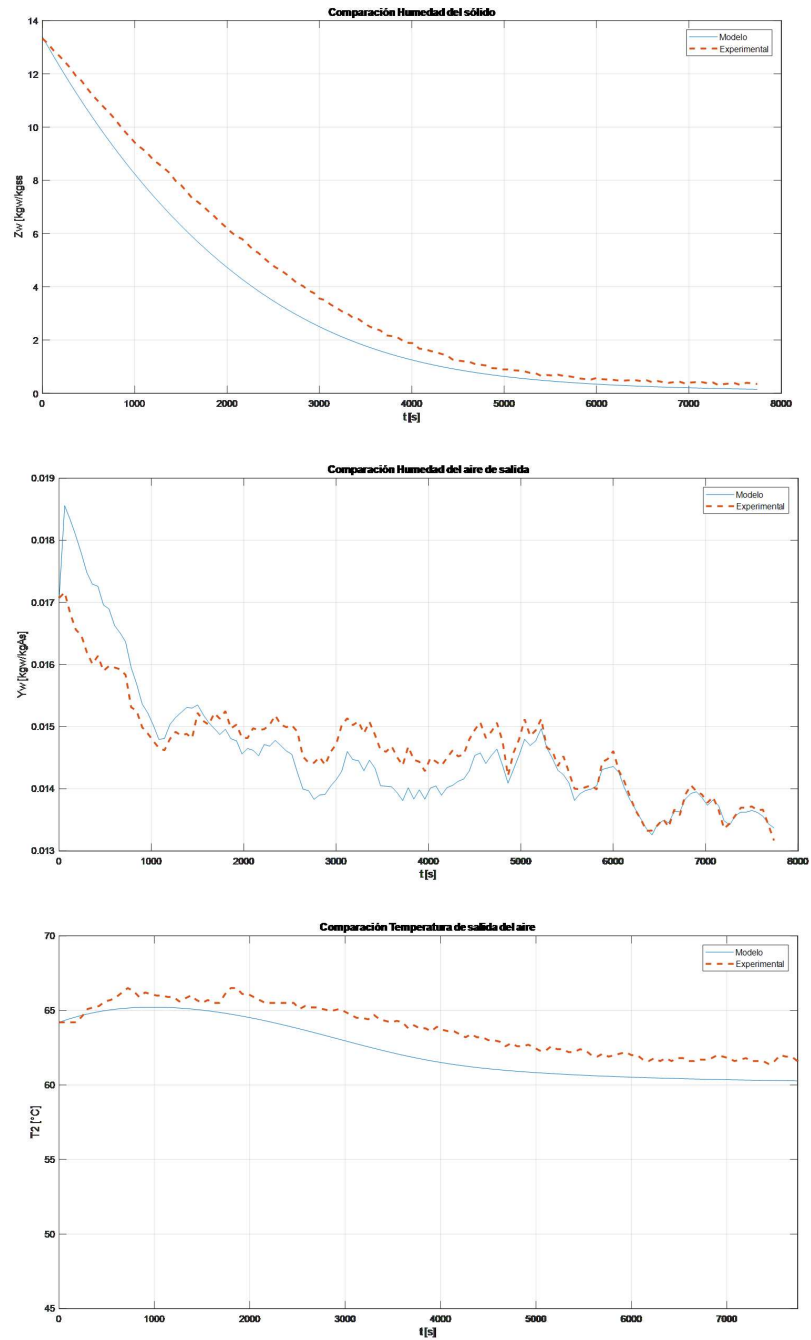


FIGURA 5.11. Resultados del modelo para conjunto de datos 5. Contenido de humedad en base seca de sólido, primera. Contenido de humedad en base seca del aire, segunda. Temperatura de salida del aire, tercera.



---

---

## Conclusiones y trabajos futuros

---

---

### 6.1. Conclusiones

- El estudio formal de la transferencia de masa implica el uso de coeficientes locales para comprender los fenómenos que ocurren dentro de las fases en contacto. Por lo tanto, es necesario tener expresiones, en lo posible generales, que permitan calcular dichos coeficientes y predecir con buen grado de exactitud la transferencia de masa que ocurren en el proceso con fines de diseño de equipo, control de proceso o estimación de variables de interés.
- Los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta al secado de tomate en rodajas indican que, con el tratamiento adecuado de los datos experimentales y utilizando herramientas como el teorema  $\pi$ –Buckingham, es posible formular una expresión que reproduzca adecuadamente el comportamiento del coeficiente local de transferencia de masa del sólido a partir de propiedades del mismo sólido.
- El modelo semifísico de base fenomenológica desarrollado para el proceso de secado predijo adecuadamente las variables de interés para diferentes condiciones de operación. El éxito en la habilidad de predicción del modelo se debe al detalle de las ecuaciones utilizadas en su estructura para representar los fenómenos que se dan en el proceso.
- La metodología propuesta para la formulación del coeficiente local de transferencia de masa del sólido, basada en números adimensionales y en propiedades del sólido, está fundamentada en el análisis formal de la transferencia. Por lo anterior, bajo las particularidades de cada proceso y con el MSBF adecuado para la validación, la metodología propuesta puede ser extendida fácilmente a otros procesos que involucren fenómenos de transferencia de masa en sólidos.
- En cuanto al análisis del proceso de secado, la ventaja de utilizar un modelo semifísico de base fenomenológica frente a la curva de secado radica en que

mediante el MSBF es posible analizar individualmente los fenómenos de transferencia de calor y masa presentes en el proceso. Adicionalmente, los modelos de ajuste para la curva de secado hacen que esta sea propia de cada corrida experimental bajo unas condiciones de operación determinada. Por su parte, el MSFB, una vez ha sido validado, permite hacer predicciones sobre el comportamiento del proceso bajo distintas condiciones de operación y ante posibles perturbaciones sin necesidad de corridas experimentales.

## 6.2. Trabajos futuros

Como trabajos futuros a la investigación planteada aquí se proponen:

- Implementar la metodología propuesta al secado de otros sólidos con el objetivo de evaluar su capacidad de predecir el valor del coeficiente  $k_z$  y generalizar su uso.
- Investigar la relación entre la difusividad superficial del sólido y la temperatura de secado con el objetivo de obtener una expresión matemática para esta difusividad, permitiendo un mejor ajuste en el valor del coeficiente  $k_z$  hallado por medio de la expresión aquí propuesta y por ende una mejor predicción hecha por el MSBF sobre las variables de interés en el proceso.

---

---

## Bibliografía

---

---

- Alvarez, H. (2000). *Control predictivo basado en modelo difuso para el control de pH*, PhD thesis, INAUT UNSJ Argentina.
- Alvarez, H. (2019). *Notas de clase para el curso Operaciones de Transferencia de Masa*, Colombia.
- Alvarez, H. D. (2011). *BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA. Formulación, solución y usos en Procesos Industriales.*, 1 edn, Editorial ArtBox, Medellín.
- Alvarez, H., Lamanna, R., Vega, P. & Revollar, S. (2009). Metodología para la obtención de modelos semifísicos de base fenomenológica aplicada a una sulfitadora de jugo de caña de azúcar, *RIAI Revista Iberoam. de Automática e Informática Ind.* **6**(3): 10 – 20.
- Andrade, R., Lemus, R. & Perez, C. (2011). Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations, *Vitae* **18**(3): 325–344.
- Armfield (2016). *Try Drier. Instruction Manual*.
- Arslan, D. & Ozcan, M. (2011). Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters, *CyTA Journal of Food* **9**: 229–236.
- Ateeque, M., Udayraj, Mishra, R. K., Chandramohan, V. & Talukdar, P. (2014). Numerical modeling of convective drying of food with spatially dependent transfer coefficient in a turbulent flow field, *International Journal of Thermal Sciences* **78**: 145 – 157.
- Barati, E. & Esfahani, J. (2011a). A new solution approach for simultaneous heat and mass transfer during convective drying of mango, *Journal of Food Engineering* **102**(4): 302 – 309.
- Barati, E. & Esfahani, J. (2011b). A new solution approach for simultaneous heat and mass transfer during convective drying of mango, *Journal of Food Engineering* **102**(4): 302 – 309.

- Belghith, A., Azzouz, S. & ElCafsi, A. (2016). Desorption isotherms and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato, *Heat and Mass Transfer* **52**(3): 407–419.
- Brooks, M. S., Ghaly, A. E. & Hana, N. H. A. E. (2008). Effect of osmotic pre-treatment on the air-drying behavior and quality of plum tomato pieces, *International Journal of Food Engineering* **4**(5).
- Cengel, Y. & Boles, M. (2019). *Termodinámica*, 7 edn, Mc-GrawHill, México.
- Cengel, Y. & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*, 4 edn, Mc-GrawHill, México.
- Colak, N., Erbay, Z. & Hepbasli, A. (2013). Performance assessment and optimization of industrial pasta drying, *International Journal of Energy Research* **37**(8): 913–922.
- da Silva, W. P., e Silva, C. M., Gama, F. J. & Gomes, J. P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **13**(1): 67–74.
- Datt, P. (2011). *Latent Heat of Vaporization Condensation*, Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 703–703.
- Defraeye, T. (2014). Advanced computational modelling for drying processes - a review, *Applied Energy* **131**: 323 – 344.
- Demiray, E. & Tuleh, Y. (2012). Thin layer drying of tomato o (lycopersicum esculentum mill cv; rio grande) slices in a convective hot air dryer, *Heat Mass Transf.* **48**: 8941–9847.
- Esfahani, J., Majdi, H. & Barati, E. (2014). Analytical two-dimensional analysis of the transport phenomena occurring during convective drying: apple slices, *Journal of Food Engineering* **123**: 87–93.
- Gaware, T. J., Sutar, N. & Thorat, B. N. (2010). Drying of tomato using different methods comparison of dehydration and rehydration kinetics, *Drying Technology* **28**(5): 651–658.
- Getahun, E., Gabbiye, N., Delele, M., Fanta, S. W., Gebrehiwot, M. G. & Vanierschot, M. (2020). Effect of maturity on the moisture sorption isotherm of chili pepper (mareko fana variety), *Heliyon* **6**(8): e04608.
- Hussain, M. & Dincer, I. (2003). Two-dimensional heat and moisture transfer analysis of a cylindrical moist object subjected to drying: A finite-difference approach, *International Journal of Heat and Mass Transfer* **46**(21): 4033 – 4039.
- Kiranoudis, C., Maroulis, Z., Tsami, E. & Kouris, D. M. (1993). Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables, *Journal of Food Engineering* **20**(1): 55–74.



- Kumar, Y., Singh, L., Sharanagat, V. S., Mani, S., Kumar, S. & Kumar, A. (2021). Quality attributes of convective hot air dried spine gourd (*Momordica dioica* roxb. ex willd) slices, *Food Chemistry* **347**: 129041.  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621000431>
- Lema, L., Tamayo, R. M., Tirado, J. G. & Alvarez, H. (2019). On parameter interpretability of phenomenological based semiphysical models in biology, *Informatics in Medicine Unlocked* **15**: 100158.  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352914818302181>
- Li, M. & Duncan, S. (2008). Dynamic model analysis of batch fluidized bed dryers, *Particle and Particle Systems Characterization* **25**: 328 – 344.
- Lopez Vidana, E., Cesar, A., Garcia Valladares, O., Pilatowsky, I. & Brito, R. (2019). Thermal performance of a passive, mixed type solar dryer for tomato slices *Solanum lycopersicum*, *Renewable Energy* **147**.
- Martinez de la Cuesta, P. & Ruz Martinez, E. (2004). *Operaciones de separación en ingeniería química*, 1 edn, PEARSON EDUCACIÓN, Madrid.
- Mujumdar, A. (2011). *Handbook of Industrial Drying*, 4 edn, CRC Press, Boca Raton.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M. & Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **15**(3): 599–618.
- Oztop, H. F. & Akpınar, E. K. (2008). Numerical and experimental analysis of moisture transfer for convective drying of some products, *International Communications in Heat and Mass Transfer* **35**(2): 169 – 177.
- Palencia, C., Nava, J., Herman, E., Rodríguez, G. C. & García-Alvarado, M. A. (2002). Spray drying dynamic modeling with a mechanistic model, *Drying Technology* **20**(3): 569–586.
- Poling, B. E., Prausnitz, J. M. & O'Connell, J. (2001). *The Properties of Gases and Liquids*, 5 edn, McGraw Hill, New York.
- Qiu, J., Khalloufi, S., Martynenko, A., Dalen, G. V., Schutyser, M. & Rivera, C. A. (2015). Porosity, bulk density, and volume reduction during drying: Review of measurement methods and coefficient determinations, *Drying Technology* **33**(14): 1681–1699.
- Seader, J., Henley, E. J. & Roper, D. K. (2010). *Separation process principles : chemical and biochemical operations*, 3rd edn, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Shashari, N., Hasnan, H., Hanan, A. & Noor, N. (2019). Analysis of two-dimensional (2d) fruit drying process through heat and mass transfer model, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **477**: 012024.

- Silva, W., Silva, C., Jossyl, S. & Farias, V. (2012). Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*cicer arietinum* l.), *International Journal of Food Science and Technology* **48**: 276–273.
- Treybal, R. (1989). *Operaciones de transferencia de masa*, 2 edn, McGraw Hill, Mexico.
- Tsilingiris, P. (2008). Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100Å°c, *Energy Conversion and Management* **49**(5): 1098–1110.
- Tzempelikos, D. A., Mitrakos, D., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E. & Margaris, D. P. (2015). Numerical modeling of heat and mass transfer during convective drying of cylindrical quince slices, *Journal of Food Engineering* **156**: 10–21.
- Vega, A., Palacios, M., Lemus, R. & Carvalho, C. (2008). Moisture sorption isotherms and isosteric heat determination in chilean papaya (*vasconcellea pubescens*), *Quimica Nova QUIM NOVA* **31**.
- Velásquez, S., Franco, A. P., Pena, N., Bohórquez, J. C. & Gutierrez, N. (2021). Effect of coffee cherry maturity on the performance of the drying process of the bean sorption isotherms and dielectric spectroscopy, *Food Control* **123**: 107692.
- Viswanathan, R., Jayas, D. & Hulasare, R. (2003). Sorption isotherms of tomato slices and onion shreds, *Biosystems Engineering* **86**(4): 465–472.
- Wami, E. & Onuigezhe, M. (2014). Model equation for heat transfer coefficient of air in a batch dryer, *International Journal of Scientific and Engineering Research* **5**: 121–127.
- Wang, N. & Brennan, J. (1995). A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato, *Journal of Food Engineering* **24**(1): 47 – 60.
- Welty, J., Wicks, C., Wilson, R. & Rorrer, G. (2007). *Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer*, 5 edn, Jhon Wiley and Sons, Oregon.
- Zohuri, B. (2017). *Dimensional Analysis Beyond the Pi Theorem*, Springer, Boca Raton.

# APÉNDICE

---

---

## Corridas experimentales

---

---

En este apartado se presentan los datos experimentales a partir de los que se obtuvieron los resultados en esta tesis.

En las Tablas 1 a 4 se presentan los datos experimentales reportados en la Sección 3.2.

TABLA 1. Conjunto de datos 1

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
1	78	43	24	44	20	20	0.79	725	724	779	2228
2	77	45	22	45	19	20	0.77	724	724	778	2226
3	76	45	22	46	19	20	0.79	724	723	777	2223
4	74	46	22	46	18	20	0.79	722	722	776	2219
5	73	46	21	46	18	20	0.78	721	721	775	2218
6	72	46	22	46	19	20	0.79	720	721	774	2215
7	71	46	22	46	19	20	0.78	719	720	773	2213
8	70	45	22	46	19	20	0.79	719	719	772	2210
9	70	45	22	45	20	20	0.80	717	719	771	2207
10	70	45	22	45	20	20	0.81	716	719	770	2205
11	70	45	22	45	20	20	0.77	716	717	770	2203
12	70	45	22	45	19	20	0.75	715	716	768	2199
13	70	45	22	45	19	20	0.77	714	716	767	2198

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
14	70	45	22	45	19	20	0.79	713	715	767	2195
15	70	45	22	45	20	20	0.79	713	715	766	2194
16	70	45	22	45	19	20	0.79	711	714	765	2190
17	70	45	22	45	19	20	0.80	710	713	764	2188
18	70	45	22	45	20	20	0.84	709	712	763	2184
19	70	45	22	45	19	20	0.81	709	712	762	2182
20	70	45	22	45	20	20	0.76	708	712	762	2181
21	70	45	22	45	20	20	0.77	707	710	761	2177
22	70	45	22	45	20	20	0.76	705	710	760	2175
23	70	45	22	45	19	20	0.80	705	709	759	2173
24	70	45	22	45	19	20	0.83	704	709	758	2170
25	71	45	22	45	19	20	0.79	704	708	757	2168
26	70	45	22	45	19	20	0.82	702	708	757	2167
27	70	45	22	45	19	20	0.83	701	707	756	2164
28	70	45	22	45	19	20	0.81	701	707	755	2162
29	70	45	22	45	20	20	0.79	700	706	754	2159
30	70	45	22	45	19	20	0.79	699	705	753	2157
31	70	45	21	45	19	20	0.78	698	704	752	2154
32	70	45	22	45	19	20	0.77	697	704	751	2151
33	70	45	22	45	19	20	0.80	696	703	751	2150
34	70	45	21	45	19	20	0.79	695	702	749	2146
35	70	45	21	45	19	20	0.76	694	702	748	2144
36	70	45	21	45	19	20	0.80	693	701	748	2142
37	70	45	21	45	19	20	0.79	693	700	747	2140
38	70	45	21	45	19	20	0.82	692	700	746	2137
39	70	45	21	45	19	20	0.79	691	699	745	2135
40	70	45	22	45	19	20	0.81	690	699	745	2134
41	70	45	21	45	19	20	0.75	689	698	744	2131
42	70	45	21	45	19	20	0.80	688	698	743	2129

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
43	70	45	21	45	19	20	0.81	688	697	742	2127
44	70	45	21	45	19	20	0.80	686	697	741	2124
45	70	45	22	45	19	20	0.76	685	696	740	2121
46	70	45	21	45	19	20	0.81	685	695	740	2119
47	70	45	21	45	19	20	0.80	684	694	738	2116
48	70	45	21	45	19	20	0.79	683	694	738	2114
49	70	45	21	45	19	20	0.81	682	693	737	2112
50	70	45	21	45	19	20	0.84	681	693	736	2109
51	70	45	21	45	19	20	0.83	680	692	735	2107
52	70	45	21	45	19	20	0.82	680	691	735	2105
53	70	45	21	45	19	20	0.80	679	691	734	2103
54	70	45	21	45	19	20	0.79	678	690	733	2101
55	70	45	22	45	20	20	0.82	677	689	732	2099
56	70	45	21	45	19	20	0.79	676	689	731	2096
57	70	45	21	45	19	20	0.83	676	688	731	2094
58	70	45	21	45	19	20	0.80	675	688	730	2092
59	70	45	21	45	19	20	0.80	674	687	729	2089
60	70	45	21	45	19	20	0.82	673	686	728	2087
61	70	45	21	45	19	20	0.82	672	686	727	2086
62	70	45	21	45	19	20	0.79	672	686	727	2084
63	70	45	21	45	19	20	0.82	671	684	726	2081
64	70	45	21	45	19	20	0.79	670	684	726	2079
65	70	45	21	45	19	20	0.81	669	684	724	2077
66	70	45	21	45	19	20	0.81	668	683	724	2075
67	70	45	21	45	19	20	0.79	668	683	722	2073
68	70	45	21	45	19	20	0.80	667	681	722	2069
69	69	45	21	45	19	20	0.76	666	681	721	2068
70	69	45	21	45	19	20	0.81	666	681	720	2067
71	69	45	21	45	19	20	0.80	664	680	719	2063

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
72	69	45	21	45	19	20	0.78	664	679	719	2062
73	69	45	21	45	19	20	0.79	663	679	718	2059
74	69	45	21	45	19	20	0.79	662	678	717	2057
75	69	45	22	45	19	20	0.79	661	678	716	2055
76	69	45	21	45	19	20	0.79	660	677	715	2052
77	69	45	21	45	19	20	0.80	660	676	714	2051
78	69	45	21	45	19	20	0.80	659	676	714	2049
79	69	45	21	45	19	20	0.84	658	675	714	2047
80	69	45	21	45	19	20	0.84	657	674	713	2044
81	69	45	21	45	19	20	0.84	657	675	712	2043
82	69	45	21	45	19	20	0.80	656	673	711	2040
83	69	45	21	44	19	20	0.79	655	673	710	2038
84	69	45	21	45	19	20	0.83	654	672	710	2036
85	69	45	21	45	19	20	0.84	654	672	709	2035
86	69	45	21	45	19	20	0.84	653	671	709	2032
87	69	45	21	45	19	20	0.82	652	671	708	2030
88	69	45	21	45	19	20	0.78	652	670	706	2028
89	68	45	21	45	19	20	0.84	650	669	706	2026
90	84	43	23	43	20	20	0.96	650	669	706	2025
91	100	41	25	42	21	20	1.07	650	668	706	2024
92	94	47	20	48	15	20	0.82	648	667	704	2020
93	83	49	17	50	15	20	0.81	648	667	703	2018
94	74	49	17	49	14	20	0.80	647	667	702	2015
95	68	48	17	48	16	20	0.79	646	665	701	2011
96	65	47	19	47	17	20	0.81	644	665	700	2008
97	64	46	20	46	18	20	0.83	645	664	699	2008
98	64	45	20	45	19	20	0.82	644	664	699	2007
99	65	45	21	44	19	20	0.86	643	663	698	2004
100	66	45	21	44	19	20	0.80	642	663	698	2003

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
101	67	45	21	44	19	20	0.81	641	663	697	2000
102	68	45	21	44	19	20	0.79	641	662	696	1998
103	68	45	21	44	19	20	0.82	640	661	696	1997
104	68	45	20	45	18	20	0.81	639	661	695	1995
105	68	45	21	45	19	20	0.84	638	660	694	1993
106	68	45	20	45	18	20	0.81	637	659	693	1990
107	68	45	21	45	18	20	0.80	637	658	693	1988
108	68	45	20	45	19	20	0.83	636	659	692	1986
109	68	45	21	45	18	20	0.84	636	658	692	1986
110	68	45	20	45	18	20	0.81	636	657	691	1984
111	68	45	20	44	18	20	0.84	634	657	690	1981
112	68	45	20	45	18	20	0.80	634	656	688	1978
113	68	45	20	45	18	20	0.83	633	655	689	1977
114	68	45	20	45	18	20	0.79	632	655	688	1975
115	68	45	20	45	18	20	0.81	631	655	687	1973
116	68	45	20	45	18	20	0.83	631	654	687	1972
117	68	45	20	45	19	20	0.81	631	654	685	1970
118	68	45	20	44	18	20	0.75	630	654	685	1968
119	68	45	20	45	19	20	0.78	629	653	684	1966
120	68	45	20	45	18	20	0.82	628	652	684	1964
121	68	45	20	45	18	20	0.82	627	651	683	1961
122	68	45	19	44	18	20	0.86	626	651	682	1959
123	68	45	20	44	18	20	0.83	626	651	682	1958
124	68	45	19	45	18	20	0.84	625	650	681	1957
125	67	45	20	45	18	20	0.84	625	649	681	1954
126	67	45	20	45	18	20	0.79	624	649	680	1953
127	67	45	20	45	18	20	0.86	624	649	679	1952
128	66	45	20	45	19	20	0.82	623	647	678	1948
129	67	45	19	44	18	20	0.81	622	647	678	1947

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
130	66	45	19	45	18	20	0.84	622	647	677	1946
131	66	45	20	45	18	20	0.83	620	646	676	1943
132	67	45	20	44	18	20	0.79	621	646	676	1942
133	67	45	19	45	19	20	0.83	620	646	675	1940
134	66	45	20	45	18	20	0.83	619	644	674	1937
135	66	45	19	44	18	20	0.84	618	644	673	1936
136	66	45	19	45	18	20	0.83	617	644	673	1934
137	66	45	19	44	18	20	0.84	618	643	673	1934
138	66	45	19	44	19	20	0.81	616	643	672	1931
139	66	45	19	44	18	20	0.82	616	642	671	1929
140	65	45	19	45	17	20	0.80	615	641	671	1927
141	65	45	19	45	18	20	0.82	615	641	670	1925
142	65	45	20	44	18	20	0.83	614	641	670	1925
143	65	45	20	44	18	20	0.83	613	640	669	1922
144	65	45	19	44	18	20	0.83	613	640	669	1921
145	65	45	19	44	18	20	0.83	611	638	667	1916
146	65	45	19	45	18	20	0.87	611	638	667	1916
147	65	45	19	44	19	20	0.83	610	638	666	1914
148	65	45	19	44	18	20	0.80	610	638	666	1914
149	65	45	20	44	18	20	0.84	610	637	665	1912
150	65	45	19	44	18	20	0.89	609	636	664	1910
151	65	45	20	44	19	20	0.79	608	636	664	1908
152	65	45	19	45	18	20	0.81	607	636	663	1906
153	65	45	19	45	17	20	0.82	607	636	663	1905
154	65	45	19	44	18	20	0.81	606	635	662	1904
155	65	45	19	44	18	20	0.81	606	635	662	1902
156	65	45	19	44	18	20	0.79	605	634	660	1900
157	65	45	19	45	18	20	0.81	604	633	660	1897
158	64	45	19	45	18	20	0.82	604	632	660	1897



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
159	64	45	19	45	18	20	0.82	604	632	659	1895
160	64	45	18	45	18	20	0.80	603	632	658	1893
161	63	45	19	44	18	20	0.78	603	631	657	1891
162	64	45	19	44	18	20	0.83	602	631	657	1890
163	64	45	19	44	18	20	0.83	601	630	657	1888
164	64	45	19	44	17	20	0.82	600	629	657	1886
165	64	45	19	44	17	20	0.85	600	630	655	1885
166	64	45	19	44	18	20	0.82	599	628	655	1882
167	64	45	18	44	18	20	0.84	599	628	654	1881
168	64	45	19	44	18	20	0.82	598	628	653	1880
169	64	45	19	44	18	20	0.81	598	628	653	1878
170	64	45	20	44	17	20	0.81	597	627	653	1877
171	64	45	20	44	18	20	0.82	597	626	652	1875
172	64	45	19	44	17	20	0.84	596	626	652	1874
173	64	45	19	44	18	20	0.80	596	626	651	1873
174	64	45	18	44	18	20	0.83	595	625	650	1871
175	64	45	19	44	18	20	0.86	595	625	650	1869
176	64	45	19	44	18	20	0.83	594	625	649	1867
177	64	45	19	44	17	20	0.83	593	623	649	1864
178	64	45	19	44	18	20	0.87	594	623	648	1864
179	64	45	18	44	17	20	0.82	593	622	647	1862
180	63	45	19	44	18	20	0.82	592	622	647	1862
181	63	45	19	44	17	20	0.86	592	622	647	1861
182	64	45	19	44	18	20	0.84	591	621	646	1859
183	64	45	19	44	18	20	0.82	591	621	645	1857
184	64	45	19	44	17	20	0.83	589	621	645	1855
185	64	45	19	44	17	20	0.84	590	620	645	1855
186	63	45	18	44	17	20	0.84	589	620	644	1853
187	63	45	18	44	18	20	0.81	588	620	643	1851

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
188	63	45	18	44	17	20	0.81	587	619	643	1848
189	63	45	18	44	17	20	0.80	588	619	642	1849
190	63	45	19	44	18	20	0.80	587	618	642	1846
191	63	45	18	44	17	20	0.83	587	618	641	1845
192	63	45	18	44	18	20	0.85	586	618	641	1844
193	63	45	18	44	17	20	0.83	585	616	640	1842
194	63	45	18	44	18	20	0.83	584	616	639	1839
195	62	45	18	44	17	20	0.83	584	615	638	1838
196	62	45	19	44	18	20	0.86	584	616	638	1838
197	63	45	18	44	18	20	0.82	583	615	637	1834
198	62	45	18	44	18	20	0.83	583	614	638	1834
199	62	45	18	44	17	20	0.82	582	614	637	1832
200	62	45	18	44	17	20	0.84	581	614	636	1831
201	63	45	19	44	17	20	0.87	581	613	635	1828
202	62	45	18	44	18	20	0.84	581	612	636	1828
203	62	45	18	44	18	20	0.80	580	612	635	1827
204	62	45	19	44	18	20	0.82	580	611	635	1826
205	62	45	18	44	18	20	0.83	579	611	635	1825
206	62	45	19	44	18	20	0.79	579	611	634	1824
207	62	45	19	44	17	20	0.81	578	610	633	1821
208	62	45	19	44	18	20	0.82	579	611	633	1823
209	62	45	18	44	17	20	0.82	578	609	631	1818
210	62	45	18	44	18	20	0.81	577	609	631	1817
211	62	45	19	44	18	20	0.82	577	609	631	1816
212	62	45	19	44	18	20	0.83	576	608	631	1815
213	62	45	19	44	18	20	0.80	576	609	630	1814
214	62	45	19	44	18	20	0.79	576	607	630	1812
215	61	45	18	44	18	20	0.81	575	608	630	1812
216	62	45	19	44	18	20	0.81	575	607	628	1809

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
217	61	45	19	44	18	20	0.81	574	607	628	1809
218	61	45	18	44	18	20	0.79	573	606	628	1807
219	61	45	19	44	18	20	0.79	573	605	627	1805
220	61	45	19	44	18	20	0.82	572	605	626	1803
221	61	45	19	44	19	20	0.84	572	604	626	1801
222	61	45	19	44	19	20	0.80	572	605	625	1802
223	61	45	19	44	18	20	0.85	572	604	625	1800
224	61	45	19	44	18	20	0.83	571	604	625	1800
225	61	45	19	44	18	20	0.83	571	604	625	1799
226	61	45	19	44	19	20	0.81	570	603	623	1796
227	61	45	19	44	18	20	0.84	570	603	624	1796
228	61	45	19	44	19	20	0.82	570	602	623	1794
229	61	45	19	44	18	20	0.81	569	601	623	1793
230	61	45	20	44	19	20	0.79	568	601	622	1791
231	61	45	19	44	19	20	0.83	568	601	621	1791
232	61	45	19	44	19	20	0.79	568	601	621	1790
233	61	45	20	44	19	20	0.82	568	600	621	1789
234	61	45	19	44	19	20	0.83	568	599	620	1787
235	61	45	20	44	18	20	0.84	567	599	619	1785
236	61	45	19	44	19	20	0.81	566	599	619	1783
237	61	45	19	44	19	20	0.85	566	599	619	1783
238	61	45	19	44	18	20	0.78	566	599	618	1782
239	61	45	19	44	19	20	0.82	564	598	618	1780
240	61	45	19	44	19	20	0.80	565	598	618	1780
241	60	45	19	44	19	20	0.78	564	597	617	1779
242	61	45	19	44	19	20	0.80	563	597	616	1776
243	61	45	19	44	18	20	0.84	563	597	616	1776
244	61	45	20	44	19	20	0.78	563	595	615	1774
245	61	45	20	44	19	20	0.80	563	596	616	1774

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
246	61	45	19	44	19	20	0.84	562	596	615	1772
247	61	45	19	44	19	20	0.81	562	595	614	1771
248	61	45	20	44	19	20	0.80	561	594	614	1769
249	61	45	19	44	19	20	0.80	561	594	614	1769
250	61	45	20	44	19	20	0.85	560	594	613	1767
251	61	45	19	44	20	20	0.80	560	593	613	1766
252	61	45	19	44	20	20	0.81	559	593	613	1765
253	61	45	20	44	19	20	0.84	559	593	612	1765
254	61	45	19	44	19	20	0.80	559	592	611	1762
255	61	45	19	44	19	20	0.83	559	592	611	1762
256	61	45	19	44	19	20	0.82	558	591	610	1759
257	60	45	20	44	19	20	0.87	558	592	610	1760
258	60	45	19	44	19	20	0.77	558	591	610	1759
259	60	45	19	44	19	20	0.82	557	590	609	1756
260	60	45	19	44	20	20	0.82	557	591	610	1758
261	60	45	19	44	19	20	0.82	556	590	609	1755
262	60	45	19	44	19	20	0.84	556	590	608	1753
263	60	45	20	44	19	20	0.84	555	589	609	1753
264	60	45	19	44	19	20	0.79	556	589	607	1753
265	60	45	19	44	20	20	0.83	554	588	607	1749
266	60	45	20	44	20	20	0.84	555	588	607	1750
267	60	45	20	44	19	20	0.84	554	589	606	1749
268	60	45	19	44	20	20	0.82	554	588	606	1748
269	60	45	19	44	20	20	0.81	553	587	605	1746
270	60	45	19	44	19	20	0.83	553	587	605	1745
271	60	45	20	44	19	20	0.80	553	586	605	1744
272	60	45	19	44	19	20	0.84	552	587	604	1744
273	59	45	20	44	19	20	0.83	552	586	604	1743
274	60	45	20	44	19	20	0.80	552	586	603	1741

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
275	60	45	20	44	19	20	0.79	552	585	603	1740
276	59	45	20	44	19	20	0.82	551	585	603	1739
277	59	45	19	44	19	20	0.84	550	584	602	1736
278	60	45	20	44	20	20	0.83	550	584	602	1737
279	59	45	19	44	20	20	0.84	550	584	602	1736
280	59	45	20	44	19	20	0.85	550	584	602	1736
281	59	45	19	44	20	20	0.84	549	583	601	1733
282	59	45	19	44	20	20	0.79	549	584	600	1733
283	59	45	20	44	19	20	0.78	549	583	600	1732
284	59	45	19	44	20	20	0.87	549	583	599	1730
285	59	45	19	44	19	20	0.82	548	582	600	1730
286	59	45	20	44	19	20	0.86	548	582	599	1729
287	59	45	19	44	20	20	0.82	547	582	599	1728
288	60	45	20	44	20	20	0.84	547	582	599	1727
289	60	45	19	44	19	20	0.84	547	581	598	1726
290	59	45	19	44	19	20	0.83	547	580	597	1724
291	59	45	19	44	19	20	0.83	546	580	598	1724
292	60	45	19	44	20	20	0.82	546	580	598	1723
293	59	45	20	44	19	20	0.84	545	580	596	1721
294	59	45	20	44	20	20	0.81	546	579	596	1721
295	59	45	20	44	19	20	0.81	546	579	596	1721
296	59	45	20	44	19	20	0.83	544	579	596	1719
297	59	45	19	44	20	20	0.84	545	579	595	1719
298	58	45	20	44	20	20	0.84	545	578	595	1718
299	58	45	19	44	19	20	0.79	544	578	595	1717
300	58	45	19	44	19	20	0.81	544	578	594	1716
301	58	45	20	44	20	20	0.83	543	577	594	1713
302	58	45	20	44	19	20	0.80	543	578	594	1714
303	59	45	20	44	20	20	0.81	543	577	593	1713

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
304	59	45	20	44	20	20	0.83	542	577	593	1712
305	59	45	20	44	19	20	0.84	542	576	592	1711
306	59	45	20	44	20	20	0.82	542	576	592	1710
307	59	45	19	44	20	20	0.86	541	576	592	1709
308	59	45	20	44	20	20	0.82	541	575	592	1708
309	59	45	19	44	19	20	0.83	540	575	591	1706
310	59	45	19	44	20	20	0.82	541	575	591	1707
311	59	45	20	44	19	20	0.74	541	574	590	1705
312	58	45	19	44	20	20	0.84	540	574	590	1704
313	58	45	19	44	19	20	0.85	540	574	589	1703
314	58	45	20	44	20	20	0.81	539	573	589	1701
315	58	45	19	44	20	20	0.84	540	574	589	1703
316	58	45	20	44	20	20	0.83	539	573	589	1701
317	58	45	20	44	20	20	0.81	539	573	588	1699
318	58	45	19	44	19	20	0.81	539	572	589	1699
319	58	45	20	44	20	20	0.83	539	572	588	1699
320	58	45	19	44	19	20	0.84	538	572	588	1698
321	59	45	19	44	20	20	0.81	537	572	587	1696
322	58	45	19	44	20	20	0.86	538	571	587	1696
323	58	45	20	44	20	20	0.80	537	571	586	1694
324	58	45	20	44	20	20	0.80	537	571	587	1694
325	58	45	19	44	20	20	0.80	536	571	586	1693
326	58	45	20	44	20	20	0.80	536	569	586	1691
327	58	45	20	44	20	20	0.80	536	570	585	1691
328	58	45	19	44	20	20	0.80	535	570	585	1691
329	58	45	19	44	20	20	0.81	535	569	584	1689
330	58	45	20	44	20	20	0.76	535	569	584	1688
331	58	45	19	44	20	20	0.85	535	569	584	1688
332	58	45	20	44	20	20	0.84	534	569	584	1686

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
333	58	45	20	44	20	20	0.81	535	568	583	1685
334	58	45	20	44	20	20	0.82	534	568	583	1685
335	58	45	19	44	20	20	0.78	534	568	583	1686
336	58	45	20	44	20	20	0.85	533	569	583	1685
337	59	45	20	44	20	20	0.79	533	568	582	1683
338	59	45	20	44	21	20	0.81	533	568	583	1683
339	59	45	20	44	20	20	0.83	532	567	581	1681
340	60	45	20	44	20	20	0.86	533	567	582	1681
341	59	45	20	44	21	20	0.82	531	567	581	1679
342	59	45	20	44	20	20	0.84	532	567	580	1679
343	59	45	19	44	20	20	0.83	532	566	580	1678
344	59	45	21	44	20	20	0.86	531	567	581	1679
345	59	45	20	44	21	20	0.81	531	566	580	1676
346	59	45	20	44	20	20	0.79	530	565	580	1675
347	58	45	20	44	20	20	0.88	531	565	579	1675
348	58	45	19	44	20	20	0.87	530	565	579	1674
349	58	45	20	44	20	20	0.82	530	564	579	1673
350	58	45	20	44	21	20	0.84	531	564	578	1673
351	58	45	20	44	20	20	0.84	530	564	578	1672
352	58	45	20	44	20	20	0.83	530	564	578	1671
353	59	45	19	44	20	20	0.86	529	563	578	1670
354	59	45	20	44	20	20	0.81	529	564	578	1671
355	59	45	20	44	20	20	0.76	529	564	578	1670
356	59	45	20	44	20	20	0.81	528	563	577	1669
357	59	45	19	44	20	20	0.80	529	563	577	1668
358	59	45	20	44	20	20	0.82	528	563	577	1668
359	59	45	20	44	20	20	0.85	528	562	576	1666
360	59	45	20	44	20	20	0.83	527	562	577	1666
361	59	45	20	44	21	20	0.83	528	562	576	1665

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
362	59	45	20	44	21	20	0.83	527	561	575	1663
363	59	45	20	44	21	20	0.83	527	560	576	1663
364	59	45	20	44	20	20	0.83	527	561	575	1663
365	59	45	20	44	20	20	0.81	527	561	575	1663
366	59	45	20	44	20	20	0.84	526	560	574	1660
367	59	45	20	44	21	20	0.81	526	561	575	1661
368	59	45	19	44	20	20	0.82	526	560	574	1660
369	59	45	20	44	20	20	0.82	526	559	573	1659
370	60	45	20	44	20	20	0.82	526	560	574	1659
371	60	45	21	44	21	20	0.83	525	560	573	1658
372	60	45	20	44	21	20	0.83	525	559	573	1658
373	59	45	20	44	21	20	0.79	524	559	573	1656
374	59	45	20	44	21	20	0.82	524	559	573	1656
375	60	45	20	44	20	20	0.81	525	559	573	1656
376	59	45	20	44	21	20	0.80	525	558	572	1655
377	59	45	20	44	20	20	0.80	524	558	571	1653
378	59	45	20	44	20	20	0.83	524	557	571	1652
379	59	45	20	44	20	20	0.81	523	557	571	1652
380	59	45	20	43	21	20	0.85	524	558	571	1653
381	59	45	20	44	21	20	0.79	523	557	571	1652
382	60	45	20	43	21	20	0.81	523	557	571	1651
383	60	45	20	44	21	20	0.78	523	557	570	1649
384	60	45	20	44	20	20	0.81	522	557	570	1649
385	60	45	20	43	21	20	0.82	522	557	570	1649
386	60	45	20	44	21	20	0.80	522	557	570	1649
387	60	45	20	44	21	20	0.82	522	556	569	1647
388	60	45	20	44	21	20	0.79	521	556	569	1646
389	59	45	20	44	20	20	0.76	522	556	569	1646
390	60	45	20	43	21	20	0.78	521	556	569	1646



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
391	60	45	20	43	21	20	0.80	522	555	569	1646
392	60	45	20	44	20	20	0.81	522	555	568	1645
393	59	45	20	44	20	20	0.74	521	555	568	1643
394	60	45	20	44	21	20	0.76	520	555	567	1642
395	60	45	20	43	21	20	0.79	520	554	567	1641
396	60	45	20	43	21	20	0.81	521	554	567	1642
397	59	45	20	43	21	20	0.82	520	554	567	1641
398	60	45	19	43	21	20	0.80	520	554	567	1641
399	60	45	20	44	21	20	0.80	520	554	567	1641
400	60	45	20	44	21	20	0.76	520	553	567	1639
401	59	45	20	44	21	20	0.79	520	553	566	1639
402	60	45	20	43	21	20	0.75	520	553	566	1639
403	60	45	20	43	21	20	0.80	518	553	566	1638
404	59	45.1	19.8	43.4	20.9	20	0.78	518.9	552.4	565.9	1637.2
405	60	44.9	20	43.3	20.3	20	0.80	518.9	552.1	565.3	1636.3
406	60	45	20.4	43.5	20.5	20	0.79	518.6	552.7	565.6	1636.9
407	59	45.1	20.1	43.5	20.4	20	0.81	518.3	551.8	565.6	1635.7
408	60	45.1	20.6	43.4	21	20	0.82	518	551.5	564.7	1634.1
409	60	44.9	19.9	43.3	20.6	20	0.82	517.7	551.8	564.7	1634.1
410	60	45	20	43.5	20.9	20	0.79	517	551.8	564.7	1633.5
411	60	45	19.9	43.4	21	20	0.80	517.7	551.5	564.3	1633.5
412	60	45	20.5	43.4	20.5	20	0.80	517.7	551.8	564	1633.5
413	60	44.9	20.4	43.2	20.9	20	0.77	517.7	550.6	563.4	1631.6
414	59	45.1	20.3	43.4	20.9	20	0.81	517	550.9	564	1631.9
415	60	45	19.9	43.2	21.1	20	0.77	517.7	550.6	563.4	1631.6
416	60	44.9	20	43.1	20.9	20	0.81	517	550.6	562.8	1630.4
417	59	45.1	20	43.4	21.3	20	0.83	517	550.2	563.1	1630.4
418	60	44.9	20	43.2	21.3	20	0.82	516.7	550.6	562.8	1630
419	60	45	20	43.5	20.8	20	0.80	516.4	549.9	561.5	1627.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
420	60	45	20.1	43.4	21.3	20	0.79	517	550.6	562.5	1630
421	60	45	19.8	43.4	21.3	20	0.80	516.4	550.6	562.1	1629.1
422	59	45.1	19.9	43.5	21.3	20	0.78	515.5	549.3	562.5	1627.2
423	60	44.9	19.9	43.3	21.8	20	0.83	515.8	548.4	561.8	1626
424	60	44.9	20.3	43.2	21.8	20	0.79	515.5	549	561.5	1626
425	60	45	19.8	43.4	20.5	20	0.82	515.1	548.4	561.5	1625
426	60	45	19.9	43.3	20.7	20	0.76	515.8	549	561.2	1626
427	60	45	20.1	43.4	20.8	20	0.81	515.5	549	561.8	1626.3
428	60	45	20.3	43.3	21.2	20	0.79	515.1	548.4	561.2	1624.7
429	60	44.9	20	43.2	21.2	20	0.82	515.1	548.4	560.3	1623.8
430	60	44.8	20	43.2	21.3	20	0.81	514.5	548.4	560.6	1623.5
431	61	44.8	19.9	43.1	21.1	20	0.80	514.5	547.7	560	1622.2
432	61	44.9	20.4	43.2	21.1	20	0.80	514.2	548	560.3	1622.5
433	61	44.9	20	43.3	20.9	20	0.75	513.9	547.4	560.3	1621.6
434	61	45	19.9	43.4	21.1	20	0.81	514.2	547.4	560	1621.6
435	61	45	19.9	43.3	20.8	20	0.82	513.9	547.4	559.6	1621
436	61	44.9	20.2	43.2	20.7	20	0.79	513.6	546.8	559.3	1619.7
437	61	45.1	19.9	43.5	20.6	20	0.82	513	547.4	559	1619.4
438	61	45	19.6	43.3	21.2	20	0.81	513.6	547.1	559	1619.7
439	61	45	20.8	43.1	20.9	20	0.81	513.3	547.1	559.3	1619.7
440	60	45.1	19.9	43.4	21.2	20	0.80	513.6	546.5	558.7	1618.8
441	60	45.1	20.2	43.3	20.9	20	0.79	513.3	546.2	558.1	1617.5
442	60	45.1	19.9	43.4	20.7	20	0.81	513.6	546.5	558.1	1618.1
443	60	45.2	20.2	43.4	21.1	20	0.79	513	546.2	558.1	1617.2
444	60	44.9	19.7	43.2	21.3	20	0.79	511.7	545.5	557.8	1615
445	60	45	19.5	43.3	21	20	0.77	513	545.5	558.1	1616.6
446	60	45	20	43.3	21.4	20	0.84	513	545.9	557.8	1616.6
447	60	44.9	19.7	43.1	21.3	20	0.78	512.6	544.9	557.8	1615.3
448	60	45	20.8	43.2	21.2	20	0.80	512	545.2	557.1	1614.4

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
449	60	45	20.1	43.3	21.4	20	0.78	512.6	544.3	557.1	1614.1
450	60	45.1	20.5	43.4	21.3	20	0.80	511.4	544.3	556.5	1612.2
451	59	45.1	20.5	43.3	21.3	20	0.81	512	543.7	556.8	1612.5
452	59	45.1	20.1	43.3	22.2	20	0.81	512.6	544.3	556.2	1613.1
453	60	44.8	20.5	43	21.8	20	0.80	512	544	556.8	1612.8
454	60	44.8	20.9	42.9	22.1	20	0.83	511.4	543.7	556.2	1611.2
455	61	44.9	20.6	43.1	22.2	20	0.80	511.1	544	556.2	1611.2
456	61	44.9	20.5	43.1	21.8	20	0.79	511.4	544	555.9	1611.2
457	61	44.8	21	43.1	21.7	20	0.82	511.7	543	555.6	1610.3
458	61	45	20.9	43.2	21.8	20	0.79	511.4	543.7	555.6	1610.6
459	61	45	20.9	43.2	22.1	20	0.81	510.8	543	555.6	1609.4
460	61	44.9	20.9	43	22.4	20	0.81	510.8	543.7	555.3	1609.7
461	61	45.1	21.1	43.3	22.1	20	0.78	510.4	543.3	554.9	1608.7
462	61	45	21.3	42.9	22.7	20	0.78	510.4	542.7	554.9	1608.1
463	61	45	21.8	43	22.7	20	0.79	510.4	543	555.6	1609
464	61	45.1	20.9	43	22.3	20	0.83	510.4	542.7	554.9	1608.1
465	61	44.9	21.5	42.9	23.1	20	0.81	510.4	542.4	554.6	1607.5
466	61	45	21.3	43	22.8	20	0.83	509.8	542.4	554.3	1606.5
467	61	45.1	21.4	43.1	23.2	20	0.80	509.8	542.4	554.3	1606.5
468	61	45	21.5	43	23.5	20	0.76	510.4	542.1	554	1606.5
469	61	45.1	21.6	43.1	23	20	0.80	509.8	542.1	554.3	1606.2
470	61	44.9	21.5	42.8	23.5	20	0.77	510.1	542.4	553.7	1606.2
471	61	44.9	22.5	42.9	23	20	0.81	509.5	541.8	552.7	1604
472	62	44.9	21.6	42.6	23.2	20	0.80	509.8	541.2	553.1	1604
473	62	44.8	21.4	42.8	23.3	20	0.79	509.8	541.5	553.7	1605
474	62	44.9	22	42.8	23.5	20	0.80	509.5	541.2	553.4	1604
475	62	45	21.1	42.9	23.1	20	0.82	509.5	541.8	553.1	1604.3
476	62	45.1	21.4	43.1	23.1	20	0.80	508.9	541.2	553.1	1603.1
477	62	45	21.3	43.1	22.6	20	0.73	508.6	540.8	552.4	1601.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
478	62	45	21.3	43	22.7	20	0.81	509.5	540.8	552.4	1602.8
479	63	44.8	21.9	42.7	23.4	20	0.81	508.6	540.8	552.1	1601.5
480	62	45	21.6	42.9	22.6	20	0.79	508.6	539.9	552.4	1600.9
481	62	45.1	21.6	43	22.6	20	0.78	508.9	540.2	552.7	1601.8
482	62	45	21.7	43	23.1	20	0.79	508.9	539.9	552.7	1601.5
483	62	44.9	22.1	43	22.6	20	0.79	508.9	540.5	552.4	1601.8
484	62	45	21.6	43	23.5	20	0.79	508.9	540.2	551.8	1600.9
485	62	45.1	21	43	22.7	20	0.78	508.6	540.5	551.8	1600.9
486	62	45.1	21.3	43.1	22.6	20	0.79	507.6	539.3	551.5	1598.4
487	62	45	21.5	42.9	22.8	20	0.79	507.9	539.9	550.9	1598.7
488	63	44.9	21.9	42.9	23	20	0.80	508.3	539.6	551.2	1599
489	62	45.1	20.9	43	22.8	20	0.80	507.3	540.2	550.9	1598.4
490	62	45.1	21	43.2	22.1	20	0.83	507	539	550.9	1596.8
491	62	45	21.3	42.9	22.6	20	0.79	507.9	539	550.6	1597.5
492	62	44.9	21.3	42.9	23.1	20	0.79	507.3	539	550.6	1596.8
493	62	45	20.7	42.9	22.2	20	0.81	506.7	539	549.9	1595.6
494	62	45	21.1	43	22.6	20	0.81	507	538.6	550.2	1595.9
495	63	44.9	20.9	42.8	22.9	20	0.81	506.7	539	550.2	1595.9
496	63	45	21.2	42.9	22.2	20	0.79	506.7	539	550.2	1595.9
497	62	45	20.8	43	22.2	20	0.78	506.1	538	549.9	1594
498	62	45.1	20.8	43.1	22.2	20	0.77	506.1	538	549.3	1593.4
499	62	45	21.1	43.1	22.2	20	0.75	506.1	538	550.2	1594.3
500	63	44.9	21.4	42.9	23.6	20	0.81	506.4	538	549.9	1594.3
501	62	45	20.9	42.9	22.8	20	0.82	507	538.6	549.3	1594.9
502	63	45	21.2	42.8	22.6	20	0.79	506.1	538.3	549.6	1594
503	63	45	21.2	42.9	22.9	20	0.79	505.7	538	549.6	1593.4
504	63	45	20.5	42.9	22.6	20	0.80	506.1	538	549.6	1593.7
505	62	45	20.9	42.9	22.2	20	0.81	505.7	537.1	548.7	1591.5
506	62	45.1	20.5	43	22.6	20	0.80	505.7	537.1	549	1591.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
507	62	45	20.9	42.9	22.7	20	0.80	506.1	537.1	549	1592.1
508	63	44.9	21	42.8	22.6	20	0.80	505.7	537.1	548.7	1591.5
509	62	45.1	20.7	42.9	23.1	20	0.83	506.1	537.4	548.4	1591.8
510	62	45	20.8	43	22.2	20	0.79	505.1	536.5	548.7	1590.2
511	62	45	21	42.9	22.5	20	0.81	505.7	537.1	548.4	1591.2
512	63	44.9	20.9	42.7	22.8	20	0.81	505.4	536.8	548	1590.2
513	62	45.1	20.8	42.7	22.7	20	0.83	505.4	537.4	547.7	1590.6
514	62	45.1	20.8	42.7	23.1	20	0.78	505.4	536.8	548.4	1590.6
515	62	45	20.9	42.8	22.6	20	0.81	505.7	536.1	548	1589.9
516	62	45	21	42.8	22.6	20	0.79	505.4	536.1	547.7	1589.3
517	62	44.9	20.9	42.8	23.5	20	0.82	505.4	536.5	548	1589.9
518	62	45.1	20.9	42.9	22.7	20	0.82	505.4	536.5	547.1	1589
519	62	45	21	42.9	22.7	20	0.79	505.4	535.2	547.1	1587.7
520	62	45	20.9	42.9	22.6	20	0.80	505.1	535.8	547.1	1588.1
521	62	45.1	20.7	42.9	22.7	20	0.77	504.8	535.8	547.1	1587.7
522	62	45	21.3	42.9	22.7	20	0.78	505.1	535.5	547.1	1587.7
523	62	45	21.3	42.9	23.6	20	0.80	504.5	535.2	546.5	1586.2
524	62	45	21.4	42.9	23.2	20	0.82	504.8	535.5	547.1	1587.4
525	62	45	21.1	42.9	22.8	20	0.81	504.5	535.5	547.4	1587.4
526	62	45	21.3	43	23	20	0.82	505.1	535.2	547.1	1587.4
527	62	45	20.9	43	23.1	20	0.80	504.5	535.5	546.8	1586.8
528	62	45	21.7	43	22.7	20	0.81	504.5	534.3	546.5	1585.2
529	62	45	21.7	43	23.4	20	0.79	504.5	535.2	546.8	1586.5
530	62	45.1	21.8	43	22.4	20	0.79	504.8	534.6	546.5	1585.9
531	62	45.1	21.1	43	22.7	20	0.81	504.5	534.9	546.2	1585.5
532	62	45.1	20.9	43.1	22.6	20	0.80	504.5	534.6	546.2	1585.2
533	62	45.1	21.3	43.1	22.3	20	0.80	504.5	534.6	546.2	1585.2
534	61	45.1	20.9	43	22.9	20	0.79	504.2	533.9	545.9	1584
535	62	45	21.3	43	22.7	20	0.80	504.2	533.9	545.5	1583.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
536	62	45	21.7	42.9	23.2	20	0.79	503.9	534.3	545.9	1584
537	62	45	21.3	43	22.7	20	0.82	504.5	534.3	545.2	1584
538	62	45	21	43.1	22.8	20	0.79	503.2	533.6	545.2	1582.1
539	61	45.1	20.9	43	22.6	20	0.79	504.2	533.6	545.5	1583.4
540	61	45.1	21.2	43.1	22.5	20	0.81	503.9	533.9	544.9	1582.7
541	61	45.1	20.9	43.1	22.6	20	0.79	503.6	533.3	545.2	1582.1
542	61	45.1	20.9	43.1	22.6	20	0.80	503.6	533	545.2	1581.8
543	61	44.9	21.3	42.9	22.9	20	0.79	503.6	533	545.5	1582.1
544	61	45	21.2	43	23.1	20	0.79	503.6	533.3	545.2	1582.1
545	61	45	21.4	43.1	23.4	20	0.80	503.6	532.7	544.6	1580.8
546	61	45	21.3	43	23.2	20	0.79	503.6	533	545.2	1581.8
547	61	45	20.9	43	22.6	20	0.79	502.9	533.3	544.3	1580.5
548	61	45.1	21.4	43.1	23.5	20	0.79	503.2	532.7	544.3	1580.2
549	61	44.9	21.3	42.8	23.2	20	0.79	503.6	533	544	1580.5
550	61	45	21.6	42.9	23.6	20	0.78	503.9	532.4	544.6	1580.8
551	61	45	21.4	42.9	23.4	20	0.82	503.2	532.7	544	1579.9
552	61	45	21.4	43	23.3	20	0.79	503.2	533.3	544.3	1580.8
553	61	45.1	21.8	43	23.4	20	0.79	502.9	532.7	544.3	1579.9
554	61	44.9	21.7	42.8	23.4	20	0.79	502.6	531.8	544.3	1578.7
555	61	45	22.2	42.9	23.6	20	0.80	502.9	532.7	544	1579.6
556	61	45.1	21.1	43	23.1	20	0.78	502.9	532.1	544.3	1579.3
557	61	45.1	21.4	43.1	23.5	20	0.80	502.9	532.1	544	1579
558	61	44.9	22.1	42.9	23.5	20	0.78	502.3	532.4	543.7	1578.3
559	61	44.9	21.9	42.9	23.4	20	0.79	502.3	532.1	544	1578.3
560	61	45	21.4	43	23.3	20	0.80	502.6	532.1	544	1578.7
561	61	45	21.8	43.1	23.4	20	0.80	502.6	531.4	543.7	1577.7
562	61	45	22	43	23.1	20	0.79	502.3	532.4	543.3	1578
563	61	45.1	21.3	42.9	23.1	20	0.80	502.3	531.8	543.3	1577.4
564	61	45.1	21.8	42.9	23.1	20	0.79	502	531.4	543	1576.5

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
565	61	45	21.1	42.9	24.2	20	0.79	501.7	531.8	542.7	1576.1
566	61	44.9	21.3	42.9	23.5	20	0.78	502.3	531.1	543	1576.5
567	61	45	21.7	42.9	23.8	20	0.80	502	531.8	542.4	1576.1
568	61	45	21.6	42.9	23.4	20	0.79	502.3	531.4	542.7	1576.5
569	61	45	21.3	42.9	23.2	20	0.78	502	531.1	542.7	1575.8
570	61	45	21.5	42.9	23.1	20	0.78	502.3	531.1	543.3	1576.8
571	61	45	21.3	42.9	23.7	20	0.79	501.7	531.4	543	1576.1
572	61	45	21.7	42.9	23.3	20	0.81	501.7	531.1	542.4	1575.2
573	61	45	22.1	43	23.1	20	0.79	501.4	531.4	542.4	1575.2
574	61	44.9	21.9	42.9	23.4	20	0.77	502	530.8	542.4	1575.2
575	62	44.9	21.1	42.8	23.5	20	0.82	500.7	531.4	542.4	1574.6
576	62	44.9	21.4	42.7	23.2	20	0.84	501.4	530.8	542.1	1574.3
577	62	44.9	21.3	42.7	23.4	20	0.82	501	531.1	542.1	1574.3
578	62	44.9	21.9	42.8	23.2	20	0.81	502	530.5	542.4	1574.9
579	62	44.9	21.8	42.8	23.2	20	0.79	501.4	530.8	541.8	1574
580	62	44.9	21.5	42.8	23.4	20	0.79	502	530.8	541.8	1574.6
581	62	44.9	21.6	42.9	22.7	20	0.81	500.7	531.1	541.8	1573.6
582	62	45.1	21.6	43	22.6	20	0.81	501.4	530.2	542.1	1573.6
583	62	45.1	20.9	43	23.1	20	0.79	502.3	529.9	542.1	1574.3
584	62	45.1	21.2	43	22.8	20	0.79	501.4	530.5	541.5	1573.3
585	62	45.1	20.9	43	23.2	20	0.82	501	530.5	541.5	1573
586	62	45	21.6	42.9	23.2	20	0.79	501.7	530.2	541.8	1573.6
587	61	45.1	21.4	42.9	23.4	20	0.81	501.7	530.2	541.2	1573
588	61	45.1	21.7	42.9	23.4	20	0.80	501	529.9	541.2	1572.1
589	61	45.1	21.6	42.9	22.8	20	0.80	500.7	529.6	541.2	1571.4
590	61	45.1	21.5	43	23	20	0.81	501.4	529.9	541.8	1573
591	61	45	21.4	42.9	23.2	20	0.80	501	529.6	541.2	1571.8
592	61	45	21.3	42.9	23.1	20	0.78	500.4	529.6	540.5	1570.5
593	61	45.1	21	43	23.3	20	0.79	501	529.2	540.8	1571.1

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
594	61	44.9	22.2	42.9	23.5	20	0.77	501.4	529.6	541.2	1572.1
595	61	45	21.2	42.9	23.1	20	0.79	501.4	529.6	540.8	1571.8
596	61	45.1	21.4	42.9	23.5	20	0.79	501	529.2	541.2	1571.4
597	61	44.9	21.3	42.8	23.3	20	0.79	501	528.6	540.2	1569.9
598	61	45	21.3	42.9	23.1	20	0.79	500.4	529.2	540.5	1570.2
599	61	45.1	20.7	42.9	22.6	20	0.79	501	528.9	540.2	1570.2
600	61	44.9	21.4	42.8	23.9	20	0.79	501	529.2	540.5	1570.8
601	61	45.1	21.4	42.8	23	20	0.79	500.7	528.6	540.5	1569.9
602	61	45	22	42.9	23.3	20	0.79	501	528.3	540.2	1569.6
603	61	44.9	21.2	42.8	23.1	20	0.79	500.4	529.2	540.8	1570.5
604	61	45.1	21.7	42.9	23	20	0.77	500.7	528.6	540.5	1569.9
605	61	45.1	21.8	42.9	23.1	20	0.80	500.4	528.3	540.8	1569.6
606	61	44.9	21.4	42.8	23.1	20	0.80	500.4	528	540.2	1568.6
607	61	45	20.9	42.9	23.4	20	0.82	500.1	529.2	540.2	1569.6
608	61	45.1	21.1	43	22.8	20	0.82	499.8	528.3	539.9	1568
609	61	45	21.1	42.9	23.8	20	0.81	500.4	528.3	539.9	1568.6
610	61	44.9	21.2	42.8	23.2	20	0.79	500.1	528.9	539.6	1568.6
611	61	45.1	21.3	42.9	23.1	20	0.79	499.8	528.3	539.6	1567.7
612	61	45	21.1	42.8	23.2	20	0.80	500.4	528.3	539.6	1568.3
613	61	45	21.3	42.9	23.1	20	0.79	500.4	527.7	539.3	1567.4
614	61	45	20.9	42.9	23	20	0.80	499.5	528	540.2	1567.7
615	61	44.9	21.4	42.8	23.1	20	0.79	500.1	528.3	539.6	1568
616	61	45	21.3	43	23.4	20	0.76	499.2	528.3	539.6	1567.1
617	61	45.1	21.4	43.1	23.1	20	0.79	499.8	528	539.9	1567.7
618	61	44.9	21.1	42.9	23.2	20	0.79	499.8	528	539.6	1567.4
619	61	45	21.6	42.9	23	20	0.78	499.5	527.7	539.3	1566.4
620	61	45	21.4	42.9	22.9	20	0.82	499.2	527.1	539.3	1565.5
621	61	45	21.3	42.8	24	20	0.79	499.5	527.7	539	1566.1
622	61	45.1	21	42.9	22.6	20	0.79	500.1	527.7	539.6	1567.4



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
623	61	45	21.5	42.8	23.8	20	0.80	499.8	527.4	539	1566.1
624	61	45	21.5	42.9	23.5	20	0.83	499.5	528	539	1566.4
625	61	45.1	21.3	42.9	22.9	20	0.78	498.9	526.4	539	1564.2
626	61	45	21.3	42.8	23.4	20	0.79	499.8	526.7	539.3	1565.8
627	61	45	21.2	42.8	23.2	20	0.79	499.8	526.4	538.6	1564.9
628	61	45.1	21.4	42.9	23.5	20	0.79	499.8	527.4	539	1566.1
629	61	44.9	21.3	42.8	23.5	20	0.79	499.8	528	539.6	1567.4
630	61	45.1	21.1	42.9	23	20	0.78	498.9	527.1	538	1563.9
631	61	44.9	21.1	42.8	23.8	20	0.78	500.1	527.4	539.3	1566.7
632	61	45.1	21.3	42.9	23.7	20	0.79	500.1	527.7	539	1566.7
633	61	44.9	22	42.8	23.6	20	0.81	499.8	526.4	539	1565.2
634	61	45	21.8	42.8	23.6	20	0.81	499.8	526.1	538	1563.9
635	61	45.1	21.3	42.9	22.6	20	0.79	499.5	527.1	538	1564.6
636	61	45	21.2	42.8	23.5	20	0.79	499.8	526.7	538	1564.6
637	61	45	21.3	42.7	23.1	20	0.81	498.9	526.4	538	1563.3
638	61	45.1	21.4	42.9	23.4	20	0.81	499.2	526.1	538.6	1563.9
639	61	44.9	21.7	42.7	23.5	20	0.79	499.8	527.1	538.6	1565.5
640	61	45	21.2	42.9	22.9	20	0.79	499.2	526.7	538	1563.9
641	61	45	20.9	42.8	23.5	20	0.78	499.8	526.1	538	1563.9
642	61	45	20.9	42.7	23.7	20	0.80	499.5	526.4	538.6	1564.6
643	61	45.1	22	42.9	23.3	20	0.79	499.8	526.7	538	1564.6
644	61	45	21.3	42.8	24.2	20	0.79	499.5	527.1	538	1564.6
645	61	45	21.8	42.9	24	20	0.79	499.5	526.7	538.3	1564.6
646	61	45.1	21.1	42.9	23.6	20	0.79	499.2	526.1	538	1563.3
647	61	44.9	21.7	42.8	24.1	20	0.79	499.2	525.8	538	1563
648	61	45	21.5	42.8	23.2	20	0.78	498.5	526.1	537.7	1562.4
649	61	45.1	21.4	42.9	23.5	20	0.81	498.9	525.8	538	1562.7
650	61	45	22	42.8	23.8	20	0.79	499.5	525.8	537.4	1562.7
651	61	45	21.5	42.7	23.3	20	0.80	498.9	526.1	537.7	1562.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
652	61	45.1	21.8	42.8	23.9	20	0.80	498.9	525.8	537.7	1562.4
653	61	44.9	21.3	42.9	24	20	0.79	498.9	526.1	537.7	1562.7
654	61	45.1	21.4	42.9	23	20	0.78	499.5	525.8	537.1	1562.4
655	61	45	21.9	42.9	23.8	20	0.79	498.9	526.1	537.1	1562
656	61	45	21.3	42.8	23.9	20	0.79	498.5	526.4	537.4	1562.4
657	61	45	21.7	42.9	23.6	20	0.83	499.2	525.8	537.1	1562
658	61	45	21.4	42.9	23.4	20	0.80	498.9	525.8	537.1	1561.7
659	61	44.9	21.6	42.7	23.6	20	0.79	498.5	525.5	537.1	1561.1
660	61	45	21.8	42.8	23.2	20	0.80	499.5	525.5	537.1	1562
661	61	45	21.8	42.7	23.6	20	0.80	499.2	525.8	537.4	1562.4
662	61	45	21.6	42.8	23.5	20	0.83	498.2	525.8	537.1	1561.1
663	62	44.9	22.2	42.7	23.4	20	0.77	498.5	525.5	537.1	1561.1
664	62	44.9	21.3	42.6	24.4	20	0.77	498.9	525.5	537.1	1561.4
665	63	44.8	22.2	42.6	23.5	20	0.80	498.9	525.5	537.4	1561.7
666	62	45	21.8	42.8	23.8	20	0.79	498.2	525.5	537.1	1560.8
667	62	45	22	42.9	24	20	0.81	499.2	526.4	536.8	1562.4
668	62	44.9	21.8	42.7	23.7	20	0.78	498.5	525.2	536.5	1560.2
669	62	45	22.1	42.7	24	20	0.79	499.5	525.2	537.4	1562
670	63	45	21.5	42.8	24	20	0.81	499.2	524.9	536.8	1560.8
671	63	45	22.1	42.8	24	20	0.79	498.5	525.2	536.5	1560.2
672	63	44.9	21.5	42.7	23.9	20	0.80	499.2	524.5	536.8	1560.5
673	63	45	21.4	42.8	23.6	20	0.80	498.5	524.9	536.8	1560.2
674	63	45	22.3	42.9	23.3	20	0.78	498.9	524.9	537.1	1560.8
675	63	45	22.1	42.8	23.8	20	0.81	498.5	524.9	536.5	1559.9
676	63	45	21.7	42.8	23.7	20	0.80	498.5	524.5	536.8	1559.9
677	63	45	22	42.7	23.9	20	0.79	497.6	523.9	536.1	1557.7
678	63	45	22.4	42.8	24	20	0.78	498.5	524.2	536.1	1558.9
679	63	45	22	42.8	24	20	0.79	498.5	524.5	536.1	1559.2
680	63	45	22.2	42.7	23.5	20	0.78	498.5	524.9	536.8	1560.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
681	63	44.9	21.3	42.8	24	20	0.79	498.9	524.9	536.5	1560.2
682	63	45	21.8	42.7	23.5	20	0.80	498.5	524.9	536.1	1559.5
683	63	45	21.9	42.7	24	20	0.80	498.9	524.5	536.1	1559.5
684	64	45	21.6	42.6	24.2	20	0.82	498.5	523.9	536.1	1558.6
685	63	45	21.8	42.7	23.6	20	0.80	497.9	524.2	536.1	1558.3
686	63	45	21.9	42.8	23.9	20	0.79	498.2	524.2	536.1	1558.6
687	63	45	21.9	42.8	23.8	20	0.78	497.9	524.5	535.8	1558.3
688	63	45.1	21.8	42.9	24	20	0.82	498.2	523.9	536.5	1558.6
689	63	45.1	21.6	42.8	23.9	20	0.81	498.5	524.5	535.5	1558.6
690	63	45.1	22.2	42.8	24.2	20	0.80	498.5	523.9	535.8	1558.3
691	63	45	21.7	42.9	24	20	0.81	498.9	524.5	536.1	1559.5
692	63	45.1	21.8	42.9	23.7	20	0.80	498.5	523.9	535.8	1558.3
693	63	45	21.5	42.8	23.5	20	0.80	498.5	523.9	536.1	1558.6
694	62	45.1	21.9	42.7	24.5	20	0.79	497.9	523.6	535.5	1557
695	62	45.1	22.2	42.8	23.8	20	0.79	498.2	523.6	535.8	1557.7
696	62	45.1	21.7	42.9	23.3	20	0.79	498.5	524.2	535.8	1558.6
697	62	45	22	42.8	24.2	20	0.79	498.5	524.2	535.5	1558.3
698	63	44.9	21.8	42.7	24	20	0.79	497.9	523.6	535.2	1556.7
699	62	45	21.8	42.7	23.5	20	0.78	498.5	523.3	535.2	1557
700	62	45	21.7	42.8	24	20	0.80	498.5	523.6	535.8	1558
701	62	45.1	21.9	42.9	23.8	20	0.80	498.5	523.6	535.2	1557.3
702	62	45	21.8	42.9	23.5	20	0.79	498.5	523.9	535.8	1558.3
703	63	44.9	22	42.6	23.8	20	0.79	498.2	523.9	535.5	1557.7
704	63	44.8	21.8	42.7	24.3	20	0.79	498.2	523.9	535.2	1557.3
705	64	44.9	21.5	42.6	23.8	20	0.76	498.2	523.6	535.2	1557
706	64	44.8	22.5	42.6	24	20	0.79	498.2	523.6	535.8	1557.7
707	64	45	22.6	42.8	23.6	20	0.79	498.2	523.9	535.5	1557.7
708	64	45.1	21.7	42.9	24.5	20	0.79	497.9	523	534.9	1555.8
709	64	45	22	42.8	23.8	20	0.81	498.9	524.2	535.8	1558.9

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
710	64	45	21.8	42.7	24.8	20	0.80	498.2	523.6	535.5	1557.3

TABLA 2. Conjunto de datos 2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
1	70	40.4	24.4	44.1	21.1	20.0	0.80	89.3	72.1	103.1	329.4
2	70	43.6	22.6	44.5	19.9	20.0	0.61	101.2	84.0	115.3	326.9
3	70	45.1	21.7	45.5	18.8	20.0	0.62	99.3	84.0	1.9	324.4
4	70	39.9	25.8	44.3	20.2	20.0	0.69	91.2	101.2	129.5	321.9
5	70	43.6	22.8	45.0	19.2	20.0	0.58	99.3	104.0	116.1	319.4
6	70	45.1	21.3	45.9	18.7	20.0	0.63	98.7	103.7	114.5	316.9
7	70	46.0	20.4	46.4	18.0	20.0	0.64	97.8	102.5	114.1	314.4
8	70	46.6	20.4	46.8	17.7	20.0	0.68	95.3	103.4	112.6	311.3
9	70	47.0	19.6	47.0	17.0	20.0	0.60	95.9	101.5	112.0	309.4
10	70	47.4	19.5	47.2	17.6	20.0	0.66	94.9	100.3	111.1	306.3
11	70	47.6	18.9	47.2	17.3	20.0	0.65	93.4	100.0	110.4	303.8
12	70	47.7	19.4	47.3	17.3	20.0	0.63	92.1	99.3	109.9	301.3
13	70	47.9	19.1	47.4	16.8	20.0	0.69	91.5	98.4	108.2	298.1
14	70	48.0	18.6	47.4	16.9	20.0	0.64	90.2	98.1	107.3	295.6
15	70	48.1	19.2	47.5	17.1	20.0	0.62	89.6	96.5	106.4	292.5
16	70	48.1	18.7	47.5	17.0	20.0	0.64	89.0	96.5	105.7	291.2
17	70	48.2	18.8	47.6	16.9	20.0	0.62	87.7	95.6	103.9	287.2
18	70	48.3	18.7	47.6	16.9	20.0	0.60	87.4	94.3	103.9	285.6
19	70	48.3	18.6	47.6	16.7	20.0	0.64	86.2	94.3	102.9	283.4
20	70	48.4	18.5	47.7	16.7	20.0	0.60	85.2	93.7	102.0	280.9
21	70	48.5	18.3	47.8	16.9	20.0	0.64	84.6	92.4	101.1	278.1
22	70	48.6	18.7	47.6	16.9	20.0	0.64	84.0	91.5	100.1	275.6
23	70	48.6	18.1	47.6	16.8	20.0	0.68	83.3	90.6	98.8	272.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
24	70	48.6	18.4	47.6	16.6	20.0	0.63	81.5	90.6	98.4	270.5
25	70	48.6	18.0	47.7	16.3	20.0	0.63	80.5	89.9	98.0	268.4
26	70	48.6	18.0	47.7	16.7	20.0	0.59	79.6	88.4	96.6	264.6
27	70	48.5	18.2	47.6	16.3	20.0	0.67	79.0	88.0	95.7	262.7
28	70	48.6	18.2	47.5	16.7	20.0	0.65	77.7	87.1	94.5	259.3
29	70	48.5	18.6	47.7	16.8	20.0	0.63	77.7	85.9	94.1	257.7
30	70	48.5	18.1	47.5	17.0	20.0	0.63	76.1	85.9	93.2	255.2
31	70	48.5	18.2	47.5	16.7	20.0	0.63	75.2	84.6	92.3	252.1
32	70	48.6	18.6	47.6	16.9	20.0	0.62	74.3	84.6	91.6	250.5
33	70	48.6	18.3	47.7	16.9	20.0	0.63	73.9	83.3	90.8	248.0
34	70	48.7	18.6	47.7	17.1	20.0	0.63	72.7	82.7	89.8	245.2
35	70	48.7	18.2	47.7	17.0	20.0	0.63	72.4	82.1	89.1	243.6
36	70	48.7	18.1	47.8	16.7	20.0	0.63	70.8	81.5	88.5	240.8
37	70	48.8	18.0	47.9	16.4	20.0	0.67	70.5	80.2	86.9	237.6
38	70	48.7	18.1	47.8	16.5	20.0	0.63	68.9	79.9	87.3	236.1
39	70	48.7	17.9	47.9	16.9	20.0	0.63	68.3	79.3	86.3	233.9
40	70	48.7	18.6	47.9	16.8	20.0	0.66	66.1	78.6	86.1	230.8
41	70	48.8	18.4	47.8	16.8	20.0	0.69	67.7	77.4	84.1	229.2
42	70	48.8	18.0	47.8	16.8	20.0	0.63	66.1	76.8	83.5	226.4
43	70	48.8	17.9	47.9	16.9	20.0	0.59	65.2	76.8	83.1	225.1
44	70	48.9	18.2	47.8	17.1	20.0	0.62	64.2	75.5	82.6	222.3
45	70	48.9	18.7	47.8	16.9	20.0	0.63	63.9	74.6	81.6	220.1
46	70	48.9	18.3	47.9	17.0	20.0	0.63	61.7	74.3	80.7	216.7
47	70	49.0	18.3	47.9	16.5	20.0	0.65	61.7	73.3	79.8	214.8
48	70	49.0	18.1	47.9	16.9	20.0	0.67	63.0	73.0	77.5	213.5
49	70	49.0	18.2	47.9	16.8	20.0	0.65	60.5	71.8	78.4	210.7
50	70	49.0	18.2	48.0	16.9	20.0	0.67	58.9	71.1	77.9	207.9
51	70	49.0	17.8	47.9	16.3	20.0	0.60	58.3	70.5	76.3	205.1
52	70	49.0	17.6	47.9	16.5	20.0	0.64	58.0	69.9	75.3	203.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
53	70	49.1	17.6	48.0	16.1	20.0	0.59	57.3	68.9	75.1	201.3
54	70	49.1	17.9	48.2	16.3	20.0	0.58	56.1	68.0	74.7	198.8
55	70	49.1	17.8	48.2	16.8	20.0	0.64	55.1	67.7	73.5	196.3
56	70	49.2	17.6	48.2	16.1	20.0	0.61	54.5	67.1	72.8	194.4
57	70	49.2	17.8	48.2	16.2	20.0	0.61	54.5	66.4	71.9	192.8
58	70	49.3	17.9	48.2	16.3	20.0	0.65	52.6	66.1	71.6	190.3
59	70	49.3	17.5	48.3	16.1	20.0	0.64	52.0	64.5	71.0	187.5
60	70	49.3	17.8	48.3	15.9	20.0	0.65	51.4	64.2	70.3	185.9
61	70	49.3	17.3	48.3	15.9	20.0	0.69	50.8	63.0	69.3	183.1
62	70	49.3	17.5	48.3	16.1	20.0	0.64	49.8	62.7	68.7	181.2
63	70	49.4	17.4	48.3	16.3	20.0	0.66	49.5	61.7	68.2	179.4
64	70	49.4	17.4	48.3	16.1	20.0	0.65	48.3	60.8	67.4	176.5
65	70	49.5	17.0	48.4	16.0	20.0	0.63	47.9	61.1	67.2	176.2
66	70	49.5	17.4	48.4	16.4	20.0	0.64	47.6	59.2	66.0	172.8
67	70	49.6	17.2	48.5	15.9	20.0	0.56	46.4	59.5	65.6	171.5
68	70	49.7	17.2	48.6	16.1	20.0	0.63	46.1	58.6	64.0	168.7
69	70	49.8	17.2	48.5	15.8	20.0	0.65	44.5	57.7	64.3	166.5
70	70	49.7	16.8	48.7	16.0	20.0	0.68	43.9	57.0	63.7	164.6
71	70	49.7	17.0	48.6	16.3	20.0	0.65	43.6	55.8	62.7	162.1
72	70	49.8	17.0	48.5	15.8	20.0	0.65	42.6	57.0	63.2	162.8
73	70	49.8	17.4	48.7	16.0	20.0	0.62	42.9	54.8	60.7	158.4
74	70	49.8	16.8	48.8	15.6	20.0	0.62	41.7	54.5	60.9	157.1
75	70	49.8	16.9	48.6	16.2	20.0	0.49	41.0	53.6	60.6	155.2
76	70	49.8	16.5	48.5	16.0	20.0	0.62	40.4	53.0	59.6	153.0
77	70	49.9	16.8	48.6	16.0	20.0	0.65	39.2	52.0	58.4	149.6
78	70	49.8	16.8	48.6	16.0	20.0	0.63	38.5	51.7	58.5	148.7
79	70	49.8	16.7	48.7	15.3	20.0	0.66	37.9	50.8	57.5	146.2
80	70	49.8	17.0	48.6	15.7	20.0	0.60	36.7	50.8	57.1	144.6
81	70	49.8	16.5	48.7	15.7	20.0	0.62	37.0	49.8	55.9	142.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
82	70	49.8	16.9	48.7	16.1	20.0	0.63	36.0	48.6	55.6	140.2
83	70	49.8	16.7	48.9	16.2	20.0	0.63	35.4	48.6	55.6	139.6
84	70	49.9	16.5	48.7	15.7	20.0	0.63	35.1	47.3	54.4	136.8
85	70	49.9	16.5	48.6	16.5	20.0	0.63	34.2	47.6	54.3	136.1
86	70	49.9	16.8	48.6	16.1	20.0	0.62	33.2	46.7	54.0	133.9
87	70	49.9	16.9	48.6	16.1	20.0	0.65	32.9	45.7	53.1	131.7
88	70	49.9	16.1	48.6	15.6	20.0	0.62	32.3	44.8	52.8	129.9
89	70	50.0	15.8	48.7	15.4	20.0	0.61	32.0	43.9	51.5	127.4
90	70	50.0	16.3	48.7	15.4	20.0	0.65	31.0	43.9	51.5	126.4
91	70	50.1	16.1	48.7	15.6	20.0	0.59	30.7	43.6	50.5	124.8
92	70	50.3	15.9	48.8	15.7	20.0	0.62	30.1	42.0	50.2	122.3
93	70	50.2	16.2	48.8	15.4	20.0	0.65	29.8	41.7	49.9	121.4
94	70	50.3	15.8	48.9	15.4	20.0	0.59	28.2	41.4	48.7	118.3
95	70	50.4	15.9	49.1	15.2	20.0	0.63	28.5	40.7	48.4	117.6
96	70	50.6	16.0	49.3	15.1	20.0	0.64	27.9	40.1	48.1	116.1
97	70	50.9	15.5	49.5	14.9	20.0	0.63	26.9	38.9	47.8	113.6
98	70	51.0	15.1	49.6	15.0	20.0	0.62	26.3	38.2	47.5	112.0
99	70	51.0	15.6	49.7	14.8	20.0	0.58	26.6	38.2	46.3	111.1
100	70	51.1	15.2	49.7	14.4	20.0	0.57	25.4	37.3	45.2	107.9
101	67	51.2	14.9	49.8	14.6	20.0	0.67	25.1	37.0	45.2	107.3
102	67	50.6	15.7	49.3	15.2	20.0	0.66	25.1	36.3	45.3	106.7
103	67	50.3	15.8	48.8	15.6	20.0	0.59	23.8	35.1	44.0	102.9
104	67	50.0	15.4	48.5	15.4	20.0	0.60	23.8	35.1	44.0	102.9
105	67	49.9	15.7	48.3	15.9	20.0	0.62	23.2	34.2	43.9	101.3
106	67	49.9	15.7	48.3	15.3	20.0	0.60	22.9	33.8	43.7	100.4
107	67	50.0	15.5	48.4	15.3	20.0	0.58	22.6	33.2	42.7	98.5
108	67	50.0	15.4	48.5	15.3	20.0	0.62	22.2	32.3	43.1	97.6
109	67	49.9	15.7	48.4	15.4	20.0	0.61	21.6	32.6	42.1	96.3
110	67	50.1	15.5	48.5	15.0	20.0	0.53	21.0	31.6	41.5	94.1

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
111	67	49.9	15.2	48.4	15.5	20.0	0.61	20.7	31.3	41.2	93.2
112	67	50.0	15.3	48.5	15.3	20.0	0.61	20.4	30.4	40.8	91.6
113	67	50.1	15.5	48.5	15.1	20.0	0.61	20.1	29.8	40.2	90.1
114	67	49.9	15.3	48.4	15.2	20.0	0.64	19.4	29.8	39.9	89.1
115	67	50.0	15.4	48.4	14.9	20.0	0.61	19.1	29.5	39.6	88.2
116	67	50.1	15.3	48.5	15.2	20.0	0.62	18.5	28.8	38.7	86.0
117	67	50.0	14.8	48.4	15.0	20.0	0.60	17.9	28.2	39.0	85.1
118	67	49.9	14.8	48.4	14.8	20.0	0.62	17.9	27.6	38.3	83.8
119	68	49.9	15.2	48.3	15.1	20.0	0.63	17.5	26.9	38.1	82.5
120	68	50.0	14.8	48.4	15.0	20.0	0.66	17.2	26.3	37.8	81.3
121	67	50.1	14.9	48.3	14.9	20.0	0.68	16.6	26.6	37.2	80.4
122	67	50.1	14.4	48.5	14.9	20.0	0.64	16.6	26.3	37.5	80.4
123	67	50.0	14.8	48.4	14.7	20.0	0.65	15.4	25.1	37.0	77.5
124	67	49.9	14.9	48.3	14.8	20.0	0.60	16.0	24.4	36.5	76.9
125	67	50.1	14.5	48.3	14.6	20.0	0.62	15.4	24.1	36.2	75.7
126	67	50.0	14.9	48.3	14.6	20.0	0.60	15.0	24.4	35.3	74.7
127	68	49.9	14.8	48.2	15.0	20.0	0.66	14.1	23.2	35.2	72.5
128	67	50.1	14.4	48.3	14.7	20.0	0.64	13.8	22.9	35.2	71.9
129	67	50.1	14.3	48.4	14.3	20.0	0.61	14.4	22.9	34.3	71.6
130	67	50.2	14.4	48.4	14.4	20.0	0.61	14.1	21.9	34.6	70.6
131	66	50.2	14.3	48.4	14.4	20.0	0.64	12.5	21.6	34.3	68.4
132	67	50.0	14.5	48.1	14.6	20.0	0.61	11.3	21.6	34.6	67.5
133	67	49.6	14.6	48.0	15.4	20.0	0.44	9.4	21.3	36.2	66.9
134	68	49.8	14.8	47.8	15.1	20.0	0.63	12.5	20.7	33.4	66.6
135	68	50.1	14.5	48.3	14.8	20.0	0.71	12.2	20.7	33.4	66.3
136	67	50.2	14.8	48.4	15.1	20.0	0.60	11.9	19.7	32.1	63.7
137	67	50.1	14.5	48.3	14.5	20.0	0.64	11.3	19.4	32.7	63.4
138	67	50.2	14.5	48.3	14.8	20.0	0.68	11.0	19.4	32.7	63.1
139	67	50.1	14.6	48.3	14.8	20.0	0.64	11.6	18.8	32.1	62.5



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
140	66	50.2	14.6	48.3	15.0	20.0	0.66	11.0	18.2	32.4	61.6
141	66	50.1	14.3	48.2	15.2	20.0	0.66	11.0	18.2	31.4	60.6
142	66	49.9	14.3	48.0	15.0	20.0	0.60	10.0	17.5	31.2	58.7
143	66	50.0	14.3	47.9	14.8	20.0	0.61	10.3	18.2	31.8	60.3
144	66	50.0	14.1	47.9	15.0	20.0	0.63	10.3	16.9	31.5	58.7
145	66	50.1	14.0	48.1	14.6	20.0	0.58	10.0	17.2	30.9	58.1
146	66	50.0	14.3	48.1	15.1	20.0	0.62	9.4	16.3	30.8	56.5
147	65	50.2	14.3	48.2	14.7	20.0	0.65	11.0	16.9	28.3	56.2
148	65	50.2	14.1	48.2	14.5	20.0	0.65	9.7	16.0	30.2	55.9
149	65	50.1	14.2	48.1	14.6	20.0	0.63	8.8	15.7	29.8	54.3
150	65	50.1	14.0	48.1	14.8	20.0	0.60	13.8	13.5	28.0	55.3
151	65	50.0	14.3	48.0	14.4	20.0	0.64	9.1	15.7	29.2	54.0
152	64	50.0	14.2	48.0	14.8	20.0	0.62	9.4	15.0	29.6	54.0
153	65	49.9	14.2	47.9	14.8	20.0	0.61	8.8	14.4	29.3	52.5
154	65	50.0	14.2	47.9	15.2	20.0	0.68	8.8	14.1	28.6	51.5
155	65	50.0	14.2	47.8	15.1	20.0	0.62	8.1	13.8	28.7	50.6
156	65	50.0	14.1	47.8	14.8	20.0	0.60	8.5	14.1	28.0	50.6
157	65	49.9	14.0	47.9	14.9	20.0	0.60	8.5	13.2	28.9	50.6
158	65	49.9	14.2	47.8	14.9	20.0	0.62	8.1	13.8	28.4	50.3
159	65	50.0	14.2	47.8	15.1	20.0	0.65	7.2	12.8	28.1	48.1
160	65	49.9	13.9	47.8	14.9	20.0	0.74	7.2	12.2	28.1	47.5
161	66	49.8	14.3	47.7	15.2	20.0	0.64	7.2	12.8	27.8	47.8
162	66	49.8	14.2	47.7	15.2	20.0	0.57	6.3	12.5	28.3	47.1
163	66	49.9	14.3	47.8	14.8	20.0	0.59	6.9	11.9	27.4	46.2
164	65	50.1	13.9	47.9	14.9	20.0	0.61	7.2	12.2	27.4	46.8
165	65	50.2	13.5	48.0	14.8	20.0	0.63	6.9	11.9	27.4	46.2
166	64	50.2	13.5	48.0	14.6	20.0	0.65	6.6	11.6	27.1	45.3
167	64	50.1	13.9	47.9	14.7	20.0	0.60	6.0	11.0	27.0	44.0
168	64	50.0	13.9	47.7	15.0	20.0	0.64	6.3	11.0	27.3	44.6

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
169	65	50.0	14.1	47.8	14.8	20.0	0.60	6.3	10.7	26.7	43.7
170	64	50.1	13.6	47.9	14.8	20.0	0.63	6.3	10.3	26.8	43.4
171	64	50.0	13.9	47.7	15.0	20.0	0.64	5.6	10.0	26.2	41.8
172	64	50.0	14.0	47.7	15.1	20.0	0.62	6.3	10.0	26.1	42.4
173	64	50.0	13.8	47.6	15.2	20.0	0.58	6.9	9.7	26.2	42.8
174	64	50.1	13.9	47.7	14.4	20.0	0.62	6.6	9.7	26.1	42.4
175	64	50.1	13.7	47.9	14.6	20.0	0.67	5.6	9.7	26.2	41.5
176	64	50.0	13.5	47.8	15.0	20.0	0.60	6.6	9.4	26.8	42.8
177	64	50.0	14.0	47.7	15.2	20.0	0.68	5.3	9.4	25.9	40.6
178	64	49.9	13.9	47.6	15.2	20.0	0.62	5.3	8.5	25.2	39.0
179	64	49.9	13.6	47.7	14.7	20.0	0.61	5.0	8.8	25.8	39.6
180	64	50.0	13.4	47.8	14.8	20.0	0.62	5.3	8.8	25.8	39.9
181	64	49.9	14.0	47.8	14.8	20.0	0.65	5.0	9.1	25.5	39.6
182	64	49.9	14.0	47.8	14.7	20.0	0.61	5.0	9.1	25.5	39.6
183	64	50.0	13.7	47.8	14.8	20.0	0.65	5.0	8.1	25.6	38.7
184	64	50.0	13.6	47.8	14.3	20.0	0.62	4.7	8.5	24.9	38.1
185	64	50.0	13.5	47.7	14.3	20.0	0.65	4.7	7.5	24.9	37.1
186	64	50.1	13.1	47.8	14.3	20.0	0.59	5.0	8.5	24.2	37.7
187	64	50.0	13.7	47.8	14.3	20.0	0.63	4.7	7.5	24.9	37.1
188	64	50.0	13.7	47.7	14.4	20.0	0.61	4.7	7.2	24.6	36.5
189	64	50.0	13.3	47.7	14.7	20.0	0.65	4.7	7.8	24.3	36.8
190	64	50.0	13.2	47.7	14.4	20.0	0.63	4.4	7.8	24.6	36.8
191	64	50.0	13.6	47.7	14.5	20.0	0.61	4.7	7.5	24.3	36.5
192	64	50.0	13.0	47.7	14.3	20.0	0.62	4.7	6.9	24.3	35.9
193	64	50.0	13.1	47.6	14.6	20.0	0.64	4.4	6.6	24.5	35.5
194	64	49.9	13.8	47.6	14.8	20.0	0.63	4.4	7.2	23.6	35.2
195	64	49.9	13.5	47.5	14.7	20.0	0.63	2.8	7.5	24.9	35.2
196	64	49.9	13.4	47.5	14.9	20.0	0.65	3.4	7.2	24.6	35.2
197	64	49.9	13.1	47.5	14.7	20.0	0.64	4.1	6.6	23.9	34.6

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
198	65	49.9	13.5	47.6	14.6	20.0	0.61	4.7	6.3	23.3	34.3
199	64	50.1	13.4	47.8	14.3	20.0	0.67	4.1	6.3	23.9	34.3
200	64	50.0	13.3	47.7	14.6	20.0	0.66	3.8	6.3	23.9	34.0
201	65	49.9	13.3	47.6	14.8	20.0	0.62	3.1	6.0	23.6	32.7
202	65	50.0	13.3	47.7	14.2	20.0	0.63	3.1	6.3	24.0	33.4
203	64	50.0	13.2	47.7	14.8	20.0	0.65	3.4	6.3	24.0	33.7
204	64	50.0	12.7	47.7	13.8	20.0	0.66	3.1	6.3	23.3	32.7
205	64	50.0	12.9	47.7	14.3	20.0	0.62	3.4	6.0	23.3	32.7
206	65	49.9	12.6	47.5	13.9	20.0	0.70	2.8	5.6	23.4	31.8
207	65	50.0	13.1	47.6	14.4	20.0	0.65	2.8	5.6	23.4	31.8
208	64	50.2	13.0	47.7	13.9	20.0	0.67	3.1	6.0	23.3	32.4
209	64	50.0	12.9	47.6	14.3	20.0	0.67	3.8	5.6	22.7	32.1
210	65	49.9	13.1	47.5	14.3	20.0	0.73	3.4	4.7	23.1	31.2
211	65	49.9	13.0	47.6	14.0	20.0	0.64	2.8	5.0	23.0	30.8
212	65	50.0	12.8	47.7	13.9	20.0	0.71	2.8	4.7	23.0	30.5
213	65	50.0	12.6	47.8	13.9	20.0	0.67	3.4	5.3	22.5	31.2
214	65	50.1	12.8	47.9	13.8	20.0	0.72	2.8	4.7	23.3	30.8
215	65	50.0	13.0	47.8	13.9	20.0	0.71	3.1	4.7	23.0	30.8
216	65	50.0	13.0	47.8	14.3	20.0	0.66	2.8	4.7	22.7	30.2
217	64	50.0	13.2	47.8	13.9	20.0	0.65	2.8	4.4	22.7	29.9
218	65	50.0	13.3	47.7	14.0	20.0	0.68	2.2	4.1	23.0	29.3
219	64	50.1	13.1	47.8	14.3	20.0	0.65	2.8	4.7	22.7	30.2
220	64	50.0	13.4	47.8	14.5	20.0	0.64	2.5	5.0	22.4	29.9
221	64	50.1	13.3	47.9	14.3	20.0	0.63	3.1	4.7	22.7	30.5
222	63	50.3	13.7	48.0	14.1	20.0	0.67	3.1	4.7	23.4	31.2
223	63	50.3	13.1	48.0	14.3	20.0	0.64	2.5	4.1	23.3	29.9
224	62	50.2	13.1	47.9	14.1	20.0	0.59	3.4	4.4	22.7	30.5
225	62	50.1	13.1	47.8	14.4	20.0	0.64	3.1	4.1	22.7	29.9
226	62	50.1	12.9	47.7	14.1	20.0	0.64	2.2	4.4	22.4	29.0

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
227	62	50.0	13.1	47.7	14.6	20.0	0.65	3.1	4.4	22.4	29.9
228	62	50.0	13.1	47.7	14.5	20.0	0.68	2.5	4.4	22.4	29.3
229	62	50.0	13.5	47.8	14.4	20.0	0.68	3.1	3.8	22.4	29.3
230	62	50.0	13.5	47.8	15.1	20.0	0.64	3.8	3.8	22.3	29.9
231	61	50.1	13.7	47.8	14.8	20.0	0.54	2.8	3.8	22.7	29.3
232	62	49.9	14.1	47.7	15.2	20.0	0.66	3.1	3.8	22.1	29.0
233	62	49.9	13.9	47.6	15.2	20.0	0.66	2.8	3.8	22.7	29.3
234	62	50.0	13.8	47.7	15.2	20.0	0.63	3.4	3.8	22.1	29.3
235	62	50.0	14.3	47.7	15.4	20.0	0.64	2.8	3.8	22.4	29.0

TABLA 3. Conjunto de datos 4

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
1	90	43.9	24.3	46.3	19.9	20	0.6	632.9	623.8	623.5	1880.3
2	90	48.4	21.0	50.3	17.0	20	0.5	631.7	623.2	622.6	1877.5
3	92	49.5	20.4	51.4	16.2	20	0.7	630.1	622.0	620.4	1872.5
4	91	50.3	19.0	52.1	16.2	20	0.6	629.2	621.0	619.8	1870.0
5	89	50.8	18.9	52.8	15.4	20	0.7	628.2	620.7	618.5	1867.4
6	86	51.1	19.0	53.2	15.0	20	0.6	626.7	620.1	616.9	1863.7
7	84	51.1	18.9	52.8	15.4	20	0.7	625.1	617.3	615.7	1858.0
8	82	50.9	19.0	52.5	15.7	20	0.6	623.8	617.6	614.4	1855.9
9	81	50.8	19.2	52.0	15.9	20	0.6	622.6	616.0	612.9	1851.5
10	80	50.5	19.6	51.5	16.0	20	0.6	621.6	615.1	611.9	1848.6
11	79	50.4	19.2	51.5	16.1	20	0.6	620.1	614.4	611.0	1845.5
12	79	50.2	19.6	51.3	16.1	20	0.6	617.9	613.5	609.7	1841.1
13	79	49.9	19.7	51.1	16.2	20	0.6	617.6	612.2	607.9	1837.7
14	79	50.0	19.6	51.1	16.4	20	0.6	615.7	611.3	606.6	1833.6
15	79	49.9	20.0	51.0	16.2	20	0.7	614.4	610.1	605.7	1830.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
16	80	49.7	19.6	50.4	16.8	20	0.6	612.9	609.4	604.1	1826.4
17	81	49.7	20.0	50.1	16.6	20	0.6	611.3	608.5	602.5	1822.3
18	81	49.8	19.6	50.2	16.6	20	0.7	610.1	607.5	600.3	1817.9
19	82	49.8	19.2	50.3	16.5	20	0.6	608.8	606.3	599.1	1814.2
20	82	49.9	19.3	50.5	16.3	20	0.7	606.9	605.0	598.8	1810.7
21	82	49.9	19.2	50.5	16.5	20	0.6	605.7	604.7	596.9	1807.3
22	82	49.9	19.4	50.5	16.3	20	0.7	604.4	603.2	594.7	1802.3
23	83	49.9	19.6	50.6	16.5	20	0.7	603.2	602.5	593.4	1799.1
24	82	50.0	19.0	50.9	16.1	20	0.7	601.3	600.7	593.1	1795.1
25	82	50.1	18.9	51.1	15.8	20	0.7	600.0	600.3	591.9	1792.2
26	82	50.0	19.3	51.0	15.6	20	0.7	598.5	597.8	590.6	1786.9
27	82	50.0	19.0	50.6	16.2	20	0.7	596.9	598.8	588.7	1784.4
28	82	49.9	19.2	49.9	16.6	20	0.7	595.6	596.9	587.2	1779.7
29	82	50.2	19.0	50.2	16.6	20	0.7	593.8	595.3	586.2	1775.3
30	81	50.3	19.0	50.7	16.1	20	0.7	592.8	594.7	584.7	1772.2
31	81	50.3	19.2	50.9	16.1	20	0.7	591.6	593.8	583.1	1768.4
32	80	50.2	18.9	50.7	16.1	20	0.6	589.7	591.3	581.9	1762.8
33	80	50.0	19.1	50.6	16.5	20	0.6	588.7	590.9	580.9	1760.6
34	81	49.9	19.5	50.5	16.3	20	0.6	587.5	589.7	579.7	1756.8
35	81	50.0	19.2	50.5	16.1	20	0.6	585.6	588.7	578.4	1752.8
36	80	50.0	19.2	50.6	16.4	20	0.6	584.7	588.1	577.2	1749.9
37	80	50.1	19.2	50.8	15.9	20	0.7	583.1	587.5	575.3	1745.9
38	80	50.0	19.1	50.6	16.0	20	0.6	582.2	585.9	573.7	1741.8
39	80	49.9	19.4	50.6	16.0	20	0.6	580.6	586.2	572.8	1739.6
40	81	49.9	18.9	50.2	16.2	20	0.7	578.7	584.7	571.5	1734.9
41	81	50.0	18.7	50.4	16.2	20	0.6	578.1	585.0	570.3	1733.3
42	81	50.0	19.1	50.5	15.7	20	0.6	576.2	580.9	568.7	1725.8
43	81	49.9	18.7	50.4	15.9	20	0.6	574.6	580.0	567.8	1722.4
44	81	49.9	19.0	50.3	16.1	20	0.6	574.0	579.7	566.2	1719.9

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
45	81	49.9	18.9	50.2	16.1	20	0.7	572.1	579.3	565.2	1716.7
46	81	49.9	19.0	50.1	16.1	20	0.7	571.2	578.7	564.0	1713.9
47	81	50.0	18.6	49.9	16.4	20	0.7	569.6	577.5	561.8	1708.9
48	81	50.1	18.7	49.8	16.2	20	0.7	568.4	575.6	562.1	1706.1
49	81	50.1	18.8	49.9	16.5	20	0.7	567.1	575.3	559.6	1702.0
50	81	50.0	18.7	50.1	16.3	20	0.7	565.2	574.3	559.0	1698.6
51	81	50.0	19.2	50.4	16.0	20	0.6	564.0	571.5	557.7	1693.2
52	81	50.1	18.9	50.5	16.0	20	0.6	563.1	572.5	555.8	1691.4
53	81	49.9	18.8	50.3	16.1	20	0.6	561.5	570.9	554.9	1687.3
54	81	49.9	18.7	50.3	16.1	20	0.6	560.5	569.9	554.0	1684.5
55	81	50.1	18.4	50.3	16.1	20	0.7	559.3	568.4	552.7	1680.4
56	81	50.0	18.5	50.4	16.1	20	0.7	557.4	567.4	552.1	1676.9
57	81	50.0	18.6	50.3	16.5	20	0.6	556.2	566.2	550.2	1672.6
58	81	49.9	18.9	50.3	16.2	20	0.6	555.5	564.6	549.0	1669.1
59	81	50.0	18.6	50.3	16.2	20	0.6	554.0	564.3	548.0	1666.3
60	81	50.0	18.5	50.4	16.0	20	0.6	553.0	564.0	546.4	1663.5
61	80	50.1	18.8	50.5	15.7	20	0.6	552.1	562.1	545.5	1659.7
62	81	49.9	18.7	50.3	16.0	20	0.7	550.2	561.2	543.9	1655.3
63	81	50.0	18.4	50.2	16.0	20	0.7	548.6	559.3	542.7	1650.6
64	80	50.1	18.2	50.3	15.9	20	0.6	548.0	559.0	541.1	1648.1
65	81	49.9	18.6	50.3	15.9	20	0.7	546.8	558.0	540.2	1645.0
66	81	50.0	18.5	50.2	15.8	20	0.7	545.5	557.1	538.9	1641.5
67	81	49.9	18.6	50.0	16.1	20	0.7	543.6	556.5	538.0	1638.1
68	80	50.1	18.3	50.2	16.2	20	0.7	543.0	554.3	537.4	1634.6
69	81	49.9	18.6	49.9	16.5	20	0.7	541.4	552.7	535.5	1629.6
70	81	50.0	18.4	50.1	16.1	20	0.7	540.2	552.7	534.5	1627.4
71	81	50.0	18.3	50.1	16.3	20	0.7	539.6	552.4	533.3	1625.2
72	80	50.1	18.7	50.0	16.1	20	0.7	538.0	550.8	532.0	1620.9
73	81	49.9	18.5	49.9	16.5	20	0.7	536.4	549.3	531.1	1616.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
74	81	49.9	18.7	50.0	16.1	20	0.7	535.2	548.3	530.2	1613.6
75	80	50.1	18.7	50.4	16.3	20	0.6	534.2	546.8	528.6	1609.6
76	80	50.1	18.4	50.2	16.4	20	0.7	533.3	546.8	527.3	1607.4
77	80	50.0	18.5	50.0	16.4	20	0.7	532.0	545.2	526.7	1603.9
78	80	50.0	18.4	50.1	16.3	20	0.7	530.2	544.9	525.5	1600.5
79	80	49.9	19.0	49.8	16.8	20	0.7	529.2	543.3	524.2	1596.7
80	81	49.9	18.7	49.7	17.0	20	0.7	528.3	541.7	522.9	1593.0
81	81	49.9	18.7	49.9	16.4	20	0.7	526.7	542.4	521.7	1590.8
82	81	49.9	18.7	49.8	16.6	20	0.7	525.8	539.9	520.8	1586.4
83	81	50.0	18.8	49.9	17.0	20	0.7	524.8	539.9	520.1	1584.8
84	81	50.0	18.8	50.0	16.7	20	0.7	523.6	538.6	518.6	1580.8
85	81	50.0	18.4	50.2	16.1	20	0.7	522.6	538.6	517.9	1579.2
86	80	50.0	18.7	49.9	16.2	20	0.6	521.1	537.0	516.4	1574.5
87	80	50.0	18.3	50.1	16.2	20	0.7	520.4	536.4	515.1	1572.0
88	80	50.2	18.3	50.3	15.7	20	0.7	518.6	534.9	514.2	1567.6
89	79	50.2	18.0	50.2	15.9	20	0.7	517.9	533.6	513.2	1564.8
90	79	50.3	18.2	50.2	16.0	20	0.7	516.7	532.7	511.7	1561.0
91	79	50.0	18.2	49.9	16.5	20	0.6	515.7	531.4	510.7	1557.9
92	79	49.9	18.2	49.9	16.1	20	0.7	514.5	530.8	509.8	1555.1
93	79	50.0	18.3	50.0	16.3	20	0.7	513.2	529.8	508.5	1551.6
94	79	50.1	18.2	49.9	16.1	20	0.7	512.3	528.9	507.9	1549.1
95	79	50.0	18.2	49.7	16.0	20	0.6	511.0	527.3	506.0	1544.4
96	79	49.9	18.0	49.7	15.9	20	0.7	509.8	526.7	505.4	1541.9
97	79	50.0	17.8	49.8	15.8	20	0.7	508.8	525.8	503.5	1538.1
98	79	50.0	17.5	50.1	15.7	20	0.7	507.3	524.8	502.9	1535.0
99	79	50.1	17.8	49.9	15.9	20	0.7	506.7	524.5	502.3	1533.4
100	79	49.9	18.5	49.7	16.1	20	0.7	505.4	522.6	501.0	1529.1
101	79	50.0	17.5	49.8	15.9	20	0.7	503.8	521.7	499.8	1525.3
102	79	50.1	17.6	50.1	15.7	20	0.7	503.2	521.1	498.8	1523.1

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
103	79	50.0	17.6	49.9	16.2	20	0.7	502.0	519.5	497.9	1519.3
104	79	49.9	17.9	49.9	15.6	20	0.6	501.0	519.5	496.6	1517.1
105	79	49.9	17.8	49.7	16.2	20	0.6	500.4	517.9	495.4	1513.7
106	79	50.2	17.8	49.8	16.3	20	0.7	498.8	516.4	494.7	1509.9
107	79	50.0	18.1	49.8	16.1	20	0.7	497.9	516.4	494.1	1508.4
108	79	50.0	17.7	49.9	16.2	20	0.7	496.6	514.8	492.9	1504.3
109	79	50.0	17.4	49.6	16.3	20	0.6	496.0	514.2	491.6	1501.8
110	79	50.0	17.7	49.5	16.3	20	0.6	494.7	513.9	490.0	1498.7
111	78	50.1	17.7	49.6	15.9	20	0.7	493.5	512.0	489.4	1494.9
112	78	50.1	17.8	49.9	15.7	20	0.6	492.6	511.4	488.2	1492.1
113	78	50.2	17.5	49.9	15.9	20	0.6	491.6	511.0	486.9	1489.6
114	78	50.1	17.4	49.9	15.7	20	0.7	490.0	509.8	486.6	1486.4
115	78	50.0	17.6	49.8	15.7	20	0.7	489.1	508.8	485.0	1483.0
116	77	50.0	17.7	49.8	15.7	20	0.7	488.5	507.9	484.1	1480.5
117	77	50.0	17.6	49.7	16.0	20	0.7	487.5	507.0	483.5	1478.0
118	78	50.0	17.4	49.7	16.1	20	0.6	486.0	505.7	482.2	1473.9
119	77	50.0	17.6	49.8	16.0	20	0.7	485.3	505.1	481.3	1471.7
120	77	50.0	17.4	49.6	15.7	20	0.7	484.4	504.1	480.0	1468.6
121	77	50.0	17.7	49.6	16.0	20	0.6	483.5	503.8	479.4	1466.7
122	77	50.0	17.1	49.6	15.7	20	0.7	482.2	502.6	478.1	1462.9
123	78	49.9	17.1	49.7	15.5	20	0.7	480.6	501.6	477.2	1459.5
124	78	50.0	17.0	49.6	15.6	20	0.7	480.3	500.7	476.6	1457.6
125	77	50.0	16.8	49.6	15.2	20	0.7	479.1	499.8	475.6	1454.5
126	78	49.9	16.9	49.7	15.7	20	0.7	477.8	499.1	475.3	1452.3
127	77	50.0	17.2	49.8	15.2	20	0.6	476.9	497.6	473.8	1448.2
128	77	50.1	16.8	49.8	15.2	20	0.7	476.6	496.6	472.8	1446.0
129	77	50.0	16.5	49.6	15.1	20	0.7	475.3	496.0	471.9	1443.2
130	77	49.9	17.2	49.5	15.6	20	0.7	474.4	495.1	471.2	1440.7
131	77	49.9	16.7	49.4	15.5	20	0.7	472.8	493.8	470.0	1436.6



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
132	77	50.0	16.7	49.5	15.2	20	0.7	472.5	493.5	469.4	1435.4
133	77	50.0	16.5	49.6	15.3	20	0.7	471.2	492.2	468.4	1431.9
134	77	50.0	16.8	49.6	15.6	20	0.7	470.3	491.3	466.9	1428.5
135	77	50.0	16.5	49.5	15.1	20	0.7	469.7	491.0	466.2	1426.9
136	77	50.0	16.8	49.4	15.2	20	0.7	468.4	489.7	465.6	1423.8
137	77	50.0	17.0	49.4	15.3	20	0.7	467.2	488.5	464.4	1420.0
138	77	49.9	16.7	49.4	15.6	20	0.7	466.5	487.9	463.7	1418.1
139	77	50.0	16.9	49.6	15.4	20	0.7	465.3	487.5	462.5	1415.3
140	77	50.0	16.9	49.7	15.5	20	0.7	464.7	486.0	462.2	1412.8
141	77	50.0	17.2	49.5	15.7	20	0.7	463.7	485.7	460.9	1410.3
142	77	50.2	17.1	49.7	15.7	20	0.7	462.8	484.4	460.0	1407.2
143	76	50.2	16.9	49.9	15.6	20	0.6	461.5	483.8	459.0	1404.3
144	76	50.2	16.9	49.9	15.5	20	0.7	460.3	482.5	458.7	1401.5
145	76	50.0	16.8	49.8	15.7	20	0.6	460.0	481.9	457.5	1399.3
146	76	49.9	17.0	49.6	15.7	20	0.7	459.3	481.0	456.8	1397.1
147	76	49.9	17.1	49.4	15.8	20	0.7	458.7	481.3	455.0	1394.9
148	76	50.2	17.0	49.6	15.2	20	0.6	458.1	479.7	454.3	1392.1
149	76	49.9	17.0	49.4	15.1	20	0.6	457.5	478.5	453.7	1389.6
150	76	49.9	16.5	49.4	15.4	20	0.7	456.2	477.8	452.1	1386.2
151	76	50.0	16.9	49.6	15.3	20	0.7	454.6	477.2	452.1	1384.0
152	76	50.1	16.6	49.8	15.2	20	0.7	453.4	475.9	451.5	1380.8
153	76	49.9	16.6	49.4	15.8	20	0.7	453.1	475.6	449.9	1378.7
154	76	49.9	16.9	49.4	15.4	20	0.7	452.8	474.7	449.0	1376.5
155	76	50.0	16.3	49.5	15.4	20	0.6	451.5	474.1	448.4	1374.0
156	76	50.1	16.5	49.5	15.4	20	0.7	450.6	473.1	448.1	1371.8
157	76	49.9	16.6	49.3	15.5	20	0.7	449.3	471.9	446.8	1368.0
158	76	49.9	16.6	49.3	15.2	20	0.7	449.0	471.2	446.8	1367.1
159	76	50.0	17.0	49.2	15.3	20	0.7	448.1	470.6	445.9	1364.6
160	76	50.1	16.4	49.4	15.7	20	0.7	447.1	469.7	444.6	1361.4

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
161	76	50.1	16.6	49.3	15.7	20	0.6	446.2	468.7	443.7	1358.6
162	75	50.1	16.7	49.3	15.7	20	0.6	445.6	468.1	442.7	1356.4
163	75	50.1	16.6	49.4	15.7	20	0.7	444.6	467.2	442.1	1353.9
164	75	50.0	16.5	49.4	15.8	20	0.7	444.0	466.2	441.5	1351.7
165	75	49.9	17.0	49.4	15.7	20	0.6	443.0	465.3	440.9	1349.2
166	75	50.0	16.6	49.5	15.7	20	0.7	442.1	465.0	440.5	1347.6
167	75	50.0	16.9	49.3	15.5	20	0.6	441.8	464.4	439.3	1345.4
168	75	50.0	16.8	49.4	15.5	20	0.7	440.9	463.4	438.3	1342.6
169	75	50.0	16.7	49.5	15.7	20	0.7	439.6	462.8	437.7	1340.1
170	75	50.0	16.8	49.4	15.5	20	0.7	439.0	461.2	437.1	1337.3
171	75	50.0	16.6	49.5	15.5	20	0.6	438.0	460.9	435.8	1334.8
172	75	50.0	16.4	49.4	15.6	20	0.7	437.4	459.3	435.5	1332.3
173	75	50.1	17.1	49.3	15.8	20	0.7	436.5	459.0	434.9	1330.4
174	75	50.0	16.7	49.1	15.9	20	0.7	435.8	458.7	434.0	1328.5
175	75	50.1	16.8	49.1	16.1	20	0.6	434.9	457.8	433.0	1325.7
176	74	50.2	16.5	49.2	15.9	20	0.7	434.6	456.5	432.7	1323.8
177	74	49.9	16.9	48.9	16.1	20	0.7	434.0	455.3	431.8	1321.0
178	74	50.0	17.1	49.1	16.2	20	0.7	432.7	455.6	431.1	1319.4
179	74	50.0	17.0	49.1	16.3	20	0.6	432.1	455.0	429.9	1316.9
180	74	49.9	17.0	49.1	16.5	20	0.7	431.8	453.1	429.6	1314.4
181	75	49.9	17.0	49.2	16.1	20	0.7	430.2	452.8	428.9	1311.9
182	75	50.0	17.0	49.1	15.9	20	0.6	429.6	451.8	428.3	1309.7
183	74	50.1	17.0	49.1	16.1	20	0.7	429.3	451.5	427.4	1308.2
184	74	49.9	16.9	49.0	16.1	20	0.7	428.3	450.6	426.8	1305.6
185	75	49.9	17.3	49.0	16.0	20	0.7	427.4	449.6	426.4	1303.5
186	74	50.0	17.0	48.9	16.3	20	0.7	426.4	449.3	425.2	1300.9
187	74	50.1	17.0	49.1	16.3	20	0.6	425.5	448.4	424.9	1298.8
188	75	49.9	17.0	48.9	16.7	20	0.7	425.2	447.7	424.6	1297.5
189	74	50.0	17.1	49.1	16.1	20	0.7	424.9	447.1	423.6	1295.6

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
190	74	50.1	17.2	49.3	16.3	20	0.7	423.0	446.5	422.7	1292.2
191	74	49.9	16.9	49.3	16.2	20	0.7	423.0	445.9	422.4	1291.2
192	74	49.9	17.0	49.1	16.5	20	0.6	422.4	445.2	421.7	1289.4
193	74	50.0	17.0	49.2	16.2	20	0.7	422.1	444.6	420.5	1287.2
194	74	50.0	16.6	49.1	15.7	20	0.7	422.4	444.0	419.9	1286.2
195	74	49.9	16.6	49.1	15.8	20	0.7	419.5	443.0	419.2	1281.8
196	74	50.0	16.6	49.2	16.0	20	0.6	419.9	442.1	418.9	1280.9
197	74	50.1	16.6	49.3	15.9	20	0.7	419.5	441.5	418.6	1279.6
198	74	50.0	16.9	49.0	16.3	20	0.7	418.9	440.9	418.0	1277.8
199	74	49.9	16.8	49.0	16.2	20	0.7	418.3	439.6	417.4	1275.3
200	74	49.9	16.8	49.0	16.2	20	0.6	417.7	439.3	416.4	1273.4
201	74	50.0	16.5	49.1	16.1	20	0.6	416.7	438.7	416.1	1271.5
202	75	49.9	17.0	49.1	16.1	20	0.7	416.1	438.3	415.2	1269.6
203	74	50.2	16.5	49.3	15.7	20	0.6	415.8	437.7	414.5	1268.0
204	73	50.2	16.3	49.3	16.0	20	0.7	414.8	436.5	413.9	1265.2
205	73	50.1	16.3	49.3	15.9	20	0.6	414.2	435.8	413.0	1263.0
206	73	50.2	16.4	49.3	15.5	20	0.7	413.6	435.2	412.3	1261.2
207	73	50.0	16.4	49.1	15.9	20	0.7	413.3	434.6	411.7	1259.6
208	73	50.0	16.4	49.0	16.1	20	0.7	412.3	434.0	411.1	1257.4
209	73	49.9	16.5	48.9	15.9	20	0.6	411.7	433.3	411.1	1256.1
210	74	49.9	16.7	48.9	16.2	20	0.7	410.8	432.1	410.5	1253.3
211	74	49.8	16.6	48.7	16.2	20	0.7	409.8	431.1	409.8	1250.8
212	74	49.9	17.1	48.6	16.5	20	0.6	409.8	430.8	409.5	1250.2
213	74	49.9	16.5	49.0	15.9	20	0.6	409.5	430.8	408.3	1248.6
214	74	49.9	16.3	48.9	16.0	20	0.7	409.2	429.9	407.6	1246.7
215	74	50.0	16.1	49.1	15.7	20	0.7	408.0	429.3	407.3	1244.5
216	74	50.0	16.5	49.1	15.7	20	0.7	407.3	428.6	406.7	1242.7
217	74	50.0	16.2	49.0	15.9	20	0.6	406.4	427.7	405.8	1239.8
218	74	50.0	16.1	49.0	15.8	20	0.7	406.1	427.1	405.8	1238.9

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
219	74	50.0	16.4	49.2	15.8	20	0.7	405.8	426.8	405.1	1237.7
220	74	50.0	16.5	49.1	16.1	20	0.7	404.8	426.4	404.2	1235.5
221	75	49.9	17.0	48.6	16.6	20	0.7	404.5	425.5	403.9	1233.9
222	74	50.1	16.5	48.7	16.7	20	0.7	403.9	424.6	403.9	1232.3
223	74	49.9	16.9	48.7	16.4	20	0.7	402.9	423.9	403.3	1230.1
224	74	50.0	16.5	48.8	16.1	20	0.7	402.6	423.6	402.6	1228.9
225	74	50.1	16.5	48.9	16.2	20	0.7	402.3	422.7	401.7	1226.7
226	74	50.0	16.8	48.9	16.5	20	0.7	401.7	422.1	401.7	1225.4
227	74	49.9	17.5	48.8	16.8	20	0.8	400.7	421.4	400.4	1222.6
228	74	50.0	17.2	48.9	16.5	20	0.7	400.4	421.1	399.8	1221.4
229	74	50.1	17.0	48.7	16.9	20	0.7	399.8	420.2	399.5	1219.5
230	74	50.0	17.4	48.6	17.0	20	0.7	399.5	419.5	399.5	1218.5
231	74	49.9	17.1	48.5	17.3	20	0.7	399.2	419.2	398.6	1217.0
232	74	49.9	17.7	48.3	17.6	20	0.7	398.6	418.3	397.9	1214.8
233	75	49.9	17.6	48.3	17.7	20	0.7	397.9	417.7	397.6	1213.2
234	74	50.1	17.4	48.6	17.4	20	0.6	397.6	417.0	397.0	1211.6
235	74	50.0	17.7	48.5	17.8	20	0.7	397.0	416.7	396.4	1210.1
236	74	49.9	17.7	48.4	18.2	20	0.6	396.4	416.1	396.0	1208.5
237	74	50.0	17.7	48.5	18.1	20	0.7	396.0	415.5	395.4	1206.9
238	74	50.0	17.8	48.5	17.6	20	0.7	395.4	415.2	395.1	1205.7
239	74	49.9	17.9	48.4	17.8	20	0.7	394.8	414.5	394.5	1203.8
240	75	49.9	17.6	48.4	17.8	20	0.7	394.2	413.6	393.5	1201.3
241	75	49.9	17.6	48.5	18.1	20	0.7	393.9	413.6	393.5	1201.0
242	74	50.0	17.4	48.7	17.9	20	0.7	393.2	413.0	393.2	1199.4
243	74	49.9	17.7	48.6	17.5	20	0.7	392.9	412.3	392.9	1198.2
244	74	50.0	17.3	48.7	17.8	20	0.7	392.6	411.4	392.3	1196.3
245	74	50.0	17.6	48.7	17.9	20	0.7	391.7	411.7	391.7	1195.0
246	75	49.9	17.3	48.5	17.2	20	0.7	391.3	410.5	391.7	1193.5
247	74	50.1	17.4	48.7	17.0	20	0.8	390.7	410.5	391.0	1192.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
248	74	50.0	17.0	48.7	17.6	20	0.7	390.4	408.9	390.7	1190.0
249	74	49.9	17.4	48.4	17.7	20	0.7	390.1	408.6	390.1	1188.8
250	74	50.1	17.3	48.4	17.7	20	0.7	389.2	408.6	389.5	1187.2
251	74	50.1	17.5	48.3	17.8	20	0.7	388.8	407.6	389.2	1185.6
252	74	50.0	17.7	48.3	17.9	20	0.7	388.8	408.0	388.5	1185.3
253	74	50.0	17.4	48.3	17.7	20	0.7	387.9	407.3	388.2	1183.4
254	73	50.2	17.4	48.5	17.3	20	0.7	387.6	407.3	388.2	1183.1
255	72	50.3	17.1	48.7	17.8	20	0.7	387.3	406.4	387.9	1181.6
256	72	50.2	17.4	48.7	17.5	20	0.7	386.3	405.4	387.0	1178.7
257	72	50.2	17.1	48.7	17.4	20	0.6	386.3	404.8	386.6	1177.8
258	72	50.2	17.0	48.7	17.2	20	0.7	386.3	404.5	386.0	1176.9
259	72	50.0	16.8	48.7	16.7	20	0.7	385.4	403.6	385.7	1174.7
260	72	49.9	17.2	48.7	17.0	20	0.7	384.8	403.6	385.4	1173.7
261	72	49.9	17.1	48.4	17.2	20	0.7	384.5	403.3	385.1	1172.8
262	72	50.0	16.9	48.6	17.0	20	0.7	384.1	402.6	384.5	1171.2
263	72	50.0	17.0	48.6	17.0	20	0.7	383.8	402.0	384.5	1170.3
264	72	50.1	16.8	48.7	16.9	20	0.6	383.5	401.7	383.5	1168.7
265	72	49.9	17.0	48.6	17.2	20	0.7	383.2	401.4	383.2	1167.8
266	72	50.0	16.8	48.6	17.2	20	0.7	382.9	400.7	382.9	1166.5
267	72	50.0	16.5	48.6	16.9	20	0.7	381.9	399.8	382.6	1164.3
268	72	49.9	17.0	48.4	17.4	20	0.7	381.6	399.5	382.6	1163.7
269	72	50.0	16.7	48.4	17.2	20	0.7	381.3	399.2	382.3	1162.8
270	72	50.0	17.0	48.6	17.0	20	0.7	381.3	398.9	381.9	1162.1
271	72	50.0	17.3	48.6	17.0	20	0.7	380.1	397.9	381.0	1159.0
272	72	49.9	17.2	48.3	17.1	20	0.7	379.8	397.6	380.4	1157.8
273	73	49.8	17.3	48.3	17.2	20	0.7	379.4	397.3	380.4	1157.1
274	73	49.8	17.2	48.3	17.4	20	0.6	379.4	396.0	380.1	1155.6
275	73	50.0	17.3	48.6	17.0	20	0.7	379.4	395.7	380.1	1155.2
276	73	50.0	16.7	48.6	17.7	20	0.7	379.1	395.4	379.4	1154.0

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
277	73	49.9	17.1	48.3	17.4	20	0.7	377.9	395.1	379.1	1152.1
278	73	50.0	16.9	48.1	17.4	20	0.7	377.9	394.2	378.5	1150.5
279	73	50.1	17.0	48.3	17.4	20	0.7	377.2	394.2	378.5	1149.9
280	73	50.0	16.7	48.4	17.5	20	0.7	377.6	393.9	377.9	1149.3
281	73	49.9	17.0	48.5	17.3	20	0.7	376.6	393.2	377.6	1147.4
282	73	49.9	16.9	48.3	17.4	20	0.7	376.3	393.2	377.6	1147.1
283	73	50.1	16.9	48.4	17.0	20	0.7	376.3	392.9	376.6	1145.8
284	73	50.0	16.6	48.5	17.6	20	0.7	375.7	392.6	376.6	1144.9
285	73	49.9	17.0	48.4	17.0	20	0.7	375.1	392.0	376.3	1143.3
286	73	50.0	16.5	48.6	17.0	20	0.7	374.1	391.0	376.0	1141.1
287	73	50.0	16.6	48.7	17.1	20	0.7	374.1	390.7	375.7	1140.5
288	73	50.0	16.8	48.4	17.2	20	0.7	373.8	390.4	374.7	1139.0
289	73	50.0	17.0	48.2	17.5	20	0.7	373.8	389.8	374.7	1138.3
290	73	50.0	17.7	48.3	17.6	20	0.7	373.2	389.8	374.7	1137.7
291	73	50.0	18.3	48.3	18.6	20	0.7	372.9	388.8	374.1	1135.8
292	73	50.1	17.9	48.3	18.6	20	0.7	372.9	389.2	373.8	1135.8
293	73	49.9	17.4	48.3	18.2	20	0.7	372.5	388.2	373.8	1134.6
294	74	49.7	17.4	48.1	18.5	20	0.7	371.9	388.2	372.9	1133.0
295	74	49.8	17.9	48.3	18.1	20	0.7	371.9	387.9	372.9	1132.7
296	75	49.8	17.7	48.3	17.8	20	0.7	371.6	387.3	372.5	1131.4
297	75	49.9	17.4	48.3	18.0	20	0.7	371.6	387.3	372.2	1131.1
298	75	50.0	17.5	48.4	18.3	20	0.7	371.0	386.3	371.9	1129.2
299	75	50.0	17.5	48.3	17.9	20	0.7	370.7	386.3	371.6	1128.6
300	74	50.1	17.2	48.4	17.8	20	0.7	370.0	385.7	371.6	1127.4
301	74	49.9	17.6	48.4	18.2	20	0.7	369.7	385.1	371.3	1126.1
302	74	50.1	17.3	48.5	17.8	20	0.8	369.4	384.8	371.3	1125.5
303	74	50.0	17.3	48.4	17.7	20	0.7	369.1	384.8	370.7	1124.5
304	75	49.9	17.2	48.2	17.9	20	0.7	368.8	384.1	370.4	1123.3
305	74	50.0	17.1	48.3	18.3	20	0.7	368.2	384.1	370.0	1122.3

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
306	75	50.0	17.3	48.0	17.8	20	0.7	368.2	383.8	369.7	1121.7
307	74	50.1	17.1	48.3	18.3	20	0.7	368.2	383.5	369.4	1121.1
308	74	50.0	17.2	48.1	17.8	20	0.7	367.8	383.5	369.4	1120.8
309	75	49.9	17.8	48.1	17.8	20	0.7	367.5	382.9	368.8	1119.2
310	75	50.0	17.4	48.0	17.9	20	0.7	367.2	382.6	368.8	1118.6
311	74	50.2	17.4	48.1	18.4	20	0.7	366.3	381.6	368.5	1116.4
312	74	49.9	17.3	47.9	18.5	20	0.7	366.3	381.9	368.2	1116.4
313	75	49.9	17.4	47.7	18.4	20	0.7	366.3	381.3	368.2	1115.8
314	75	50.0	17.2	47.8	18.5	20	0.7	366.3	380.7	367.8	1114.8
315	74	50.1	17.4	47.8	18.7	20	0.7	366.0	381.0	367.5	1114.5
316	74	49.9	17.3	47.7	18.7	20	0.7	366.0	380.1	367.2	1113.3
317	74	50.0	17.4	47.8	18.6	20	0.7	365.7	379.8	367.2	1112.6
318	74	50.0	17.4	47.9	18.8	20	0.7	365.3	379.1	366.6	1111.1
319	74	50.0	17.3	48.0	18.3	20	0.7	365.0	379.1	366.3	1110.4
320	74	50.0	17.8	48.0	18.5	20	0.7	364.7	378.8	366.6	1110.1
321	74	49.9	18.0	48.2	18.6	20	0.7	364.7	378.8	366.0	1109.5
322	74	49.9	17.7	48.0	18.6	20	0.7	364.4	378.5	366.0	1108.9
323	75	49.9	18.0	48.0	18.9	20	0.7	364.1	377.9	366.0	1107.9
324	74	50.0	17.7	48.1	18.9	20	0.7	364.1	377.9	365.3	1107.3
325	74	50.0	17.7	48.3	18.8	20	0.7	363.5	377.9	365.3	1106.7
326	74	50.0	17.9	48.3	18.7	20	0.7	363.5	376.9	365.0	1105.4
327	74	49.9	17.9	48.1	19.0	20	0.7	363.1	376.6	365.0	1104.8
328	74	50.0	17.6	48.3	18.3	20	0.7	362.8	376.3	364.7	1103.9
329	74	50.2	17.5	48.4	18.2	20	0.7	362.5	376.0	364.7	1103.2
330	74	50.0	18.0	48.2	18.3	20	0.7	362.5	375.4	363.8	1101.7
331	74	50.0	17.6	48.0	18.5	20	0.7	361.9	376.0	363.8	1101.7
332	74	50.0	17.6	48.0	18.7	20	0.7	362.2	375.1	363.5	1100.7
333	74	49.9	17.5	48.0	18.4	20	0.7	361.9	375.1	363.5	1100.4
334	74	50.0	17.6	47.7	18.9	20	0.7	361.6	374.7	363.5	1099.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
335	74	49.9	17.6	47.7	18.7	20	0.7	361.6	374.4	363.1	1099.2
336	74	50.0	17.8	47.7	18.5	20	0.7	361.0	374.1	363.1	1098.2
337	74	50.2	17.4	47.9	18.7	20	0.7	361.0	374.4	363.1	1098.5
338	73	50.3	17.3	48.1	18.4	20	0.6	360.3	373.5	362.2	1096.0
339	73	50.3	17.5	48.2	18.3	20	0.7	360.3	373.2	362.2	1095.7
340	73	50.0	17.6	48.0	18.7	20	0.7	360.3	372.5	362.2	1095.1
341	73	50.0	17.2	48.0	18.4	20	0.7	360.3	372.5	361.9	1094.8
342	73	50.1	17.6	48.1	18.4	20	0.7	360.0	372.2	361.6	1093.8
343	73	49.9	17.4	48.0	18.5	20	0.7	359.7	372.5	361.6	1093.8
344	73	49.9	17.6	48.1	18.3	20	0.8	359.4	371.9	361.3	1092.6
345	73	50.0	17.5	48.2	17.9	20	0.7	359.7	371.9	361.3	1092.9
346	73	50.1	17.2	48.1	18.5	20	0.8	359.4	371.6	361.3	1092.3
347	73	49.9	17.4	47.9	18.4	20	0.7	359.1	371.3	360.6	1091.0
348	73	50.0	17.4	48.0	18.7	20	0.7	359.1	371.0	360.6	1090.7
349	73	50.0	17.2	48.2	18.2	20	0.7	358.8	370.4	360.6	1089.8
350	73	50.0	17.6	48.0	18.3	20	0.7	358.4	370.7	360.3	1089.4
351	73	49.9	17.6	47.8	19.0	20	0.7	357.8	370.4	360.3	1088.5
352	73	50.0	17.8	47.8	18.5	20	0.7	358.1	369.7	359.7	1087.6
353	73	50.1	17.5	47.9	18.3	20	0.7	357.5	369.7	359.7	1086.9
354	73	49.9	17.4	47.8	18.8	20	0.7	357.8	369.7	359.7	1087.3
355	73	49.9	17.4	47.9	19.0	20	0.7	357.5	369.4	359.4	1086.3
356	73	50.0	17.3	47.9	18.7	20	0.7	357.5	368.8	359.1	1085.4
357	73	50.0	17.3	47.9	18.9	20	0.8	357.5	369.1	359.1	1085.7
358	73	49.9	17.7	47.7	19.1	20	0.7	357.2	368.8	359.1	1085.1
359	73	50.0	17.8	47.9	19.2	20	0.6	356.9	368.2	359.1	1084.1
360	73	50.1	17.2	47.9	18.5	20	0.7	357.2	368.5	358.4	1084.1
361	73	49.9	17.4	47.8	19.0	20	0.6	356.9	368.2	358.4	1083.5
362	73	49.9	17.4	47.8	18.8	20	0.7	356.9	367.5	358.4	1082.9
363	73	50.2	17.4	47.9	18.7	20	0.7	356.6	367.8	358.1	1082.6



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
364	73	50.0	17.5	47.8	18.9	20	0.7	356.3	367.2	358.1	1081.6
365	73	49.9	17.7	47.8	18.7	20	0.7	356.3	367.2	358.1	1081.6
366	73	50.0	17.4	47.7	19.3	20	0.7	354.7	367.2	358.4	1080.4
367	72	50.2	17.8	48.0	19.1	20	0.7	356.3	366.9	357.5	1080.7
368	72	50.0	17.4	47.9	18.7	20	0.7	355.9	366.3	357.5	1079.7
369	73	49.9	17.7	47.9	18.7	20	0.7	355.9	366.3	357.2	1079.4
370	73	49.9	17.8	47.6	19.3	20	0.7	355.6	366.0	357.2	1078.8
371	73	50.0	17.4	47.8	19.0	20	0.7	355.6	365.7	357.2	1078.5
372	73	50.0	17.8	47.7	19.1	20	0.7	355.0	366.0	357.2	1078.2
373	72	50.1	17.7	47.9	18.9	20	0.7	356.6	367.2	355.9	1079.7
374	72	50.2	17.8	48.1	19.3	20	0.7	355.6	366.9	355.3	1077.9
375	72	50.1	17.7	48.1	19.4	20	0.7	357.5	366.6	355.0	1079.1
376	72	50.0	17.9	47.8	19.2	20	0.7	354.7	366.3	356.3	1077.2
377	71	50.1	17.8	47.9	19.5	20	0.7	355.6	366.3	355.9	1077.9
378	71	50.0	17.9	48.0	19.2	20	0.7	355.3	366.0	355.3	1076.6
379	71	50.1	18.1	47.9	19.6	20	0.7	355.0	366.0	355.0	1076.0
380	72	49.9	18.0	47.8	19.6	20	0.7	355.3	365.7	355.3	1076.3
381	72	50.0	18.3	47.9	19.4	20	0.7	355.3	366.0	354.7	1076.0
382	71	50.0	18.3	48.1	18.9	20	0.7	355.6	365.3	354.7	1075.7
383	72	49.9	18.3	47.7	19.8	20	0.7	355.3	364.7	354.7	1074.7
384	71	50.1	18.5	47.8	19.5	20	0.7	355.0	365.3	355.0	1075.3
385	71	50.0	18.0	47.9	19.6	20	0.7	354.7	365.0	354.4	1074.1
386	71	50.0	18.0	47.9	19.6	20	0.7	354.7	364.7	353.1	1072.5
387	72	49.9	18.4	48.0	19.2	20	0.7	353.4	364.4	354.4	1072.2
388	71	50.0	18.0	48.0	19.6	20	0.7	354.4	364.4	354.7	1073.5
389	72	49.9	18.2	48.1	19.2	20	0.7	354.1	364.1	354.7	1072.8

TABLA 4. Conjunto de datos 4

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
1	97	49.9	17.2	53.1	13.9	20.0	0.5	298.6	311.1	276.0	885.8
2	97	53.5	15.6	55.7	12.6	20.0	0.5	298.3	309.9	275.4	883.6
3	97	55.0	14.8	57.1	11.7	20.0	0.5	297.0	309.3	273.5	879.8
4	97	56.1	14.3	58.0	11.3	20.0	0.5	295.8	308.0	272.3	876.1
5	97	56.8	14.2	58.7	10.8	20.0	0.5	294.2	307.4	270.7	872.3
6	97	57.3	13.6	59.2	10.8	20.0	0.5	293.0	306.4	269.8	869.2
7	97	57.7	13.7	59.5	10.3	20.0	0.5	291.1	305.8	268.2	865.1
8	98	57.6	13.5	59.2	10.4	20.0	0.6	289.2	303.9	266.0	859.2
9	98	57.1	13.9	58.5	10.6	20.0	0.6	287.3	303.6	264.5	855.4
10	99	56.8	14.3	58.1	11.6	20.0	0.7	285.8	301.1	262.9	849.8
11	99	56.9	14.0	58.1	10.8	20.0	0.6	283.6	301.1	260.7	845.4
12	99	57.0	14.1	58.2	11.0	20.0	0.7	282.3	299.5	259.8	841.6
13	98	57.1	13.9	58.0	10.9	20.0	0.6	279.8	298.6	257.9	836.3
14	98	56.9	14.1	57.9	11.3	20.0	0.7	277.6	296.7	255.7	830.0
15	98	57.1	13.9	57.9	11.0	20.0	0.6	276.0	295.5	253.5	825.0
16	98	57.0	14.3	58.0	10.6	20.0	0.6	274.5	295.2	252.2	821.9
17	98	57.0	13.8	57.9	11.3	20.0	0.5	272.6	293.0	250.4	815.9
18	98	57.0	14.0	58.0	10.9	20.0	0.6	271.0	291.7	248.5	811.2
19	98	57.1	14.0	57.8	11.3	20.0	0.7	268.8	290.8	246.9	806.5
20	98	57.0	13.9	57.5	11.1	20.0	0.6	267.3	289.2	245.7	802.1
21	98	57.0	14.3	57.9	11.2	20.0	0.6	265.1	287.3	243.8	796.2
22	98	56.9	13.9	57.9	11.1	20.0	0.7	263.8	286.1	242.2	792.1
23	98	56.9	13.9	57.8	11.0	20.0	0.6	261.3	285.4	240.3	787.1
24	98	57.2	13.8	58.0	11.0	20.0	0.6	259.8	283.6	238.8	782.1
25	97	57.1	13.9	57.8	11.1	20.0	0.7	257.2	282.3	236.9	776.4
26	97	57.1	13.5	57.5	11.1	20.0	0.6	256.3	281.1	235.3	772.7
27	98	56.9	13.9	57.5	10.9	20.0	0.6	254.1	279.8	233.4	767.3

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
28	97	57.1	13.8	57.7	11.3	20.0	0.7	252.2	278.6	232.2	763.0
29	97	57.1	13.6	57.8	11.2	20.0	0.7	250.7	277.0	229.7	757.3
30	97	57.1	13.8	57.8	11.0	20.0	0.7	249.4	276.0	228.7	754.2
31	97	57.1	13.9	57.7	11.3	20.0	0.6	247.2	273.9	227.2	748.2
32	96	57.2	13.8	57.5	11.4	20.0	0.6	245.7	272.9	225.3	743.8
33	96	57.1	13.7	57.3	11.4	20.0	0.7	244.4	270.7	223.1	738.2
34	96	57.1	14.3	57.4	11.3	21.6	0.6	242.2	271.0	221.5	734.8
35	96	57.1	13.9	57.4	11.3	21.6	0.7	240.3	269.5	220.6	730.4
36	96	57.1	13.8	57.5	11.0	21.6	0.6	238.8	267.9	218.7	725.4
37	96	56.9	13.8	57.2	11.7	21.6	0.7	236.6	267.0	217.1	720.7
38	97	56.8	13.7	57.2	11.7	21.6	0.7	234.7	265.1	215.9	715.6
39	97	56.9	13.8	57.5	11.3	21.6	0.7	233.4	264.5	214.6	712.5
40	97	57.0	14.0	57.7	11.4	21.6	0.7	231.2	263.2	212.8	707.2
41	96	57.1	13.6	57.6	11.1	21.6	0.6	230.0	261.3	211.2	702.5
42	96	57.1	13.9	57.5	11.7	21.6	0.6	228.4	260.4	209.3	698.1
43	97	56.9	13.9	57.4	11.5	21.6	0.6	226.5	259.4	208.1	694.0
44	96	57.0	13.8	57.4	11.3	21.6	0.7	225.3	257.9	206.8	690.0
45	96	57.0	13.4	57.4	11.0	21.6	0.7	223.1	257.2	205.2	685.6
46	96	57.1	13.9	57.4	11.5	21.6	0.7	221.5	255.4	203.4	680.2
47	97	56.9	14.0	57.3	11.2	21.6	0.6	219.6	254.1	202.1	675.9
48	96	57.2	13.3	57.4	11.3	21.6	0.6	218.7	252.9	200.2	671.8
49	95	57.3	13.1	57.2	11.2	21.6	0.5	217.8	251.9	198.3	668.0
50	95	57.3	13.4	57.5	11.2	21.6	0.6	215.6	250.4	197.4	663.3
51	95	57.1	13.7	57.3	11.3	21.6	0.6	213.1	248.2	195.5	656.7
52	95	56.9	13.7	57.2	11.1	21.6	0.6	212.1	247.2	194.3	653.6
53	95	57.0	13.2	57.1	11.3	21.6	0.6	209.9	246.3	192.7	648.9
54	95	56.9	13.5	57.2	11.0	21.6	0.6	209.0	244.7	191.1	644.8
55	95	57.1	13.2	57.4	10.7	21.6	0.6	207.4	243.1	190.2	640.8
56	95	57.1	13.1	57.2	10.9	21.6	0.6	205.5	241.9	188.3	635.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
57	95	57.0	13.1	57.3	10.8	21.6	0.6	203.7	241.3	187.1	632.0
58	95	57.0	13.2	57.2	11.1	21.6	0.6	202.4	240.0	185.5	627.9
59	95	56.9	13.4	57.0	10.9	21.6	0.6	201.2	237.8	184.2	623.2
60	95	57.0	12.8	57.1	10.7	21.6	0.6	199.3	236.3	182.7	618.2
61	95	57.1	12.7	57.2	10.7	21.6	0.6	197.1	235.3	181.1	613.5
62	95	57.1	13.5	57.1	11.0	21.6	0.6	195.8	234.1	179.9	609.7
63	94	57.2	12.9	57.1	10.8	21.6	0.6	194.6	233.1	178.3	606.0
64	94	57.2	13.1	57.2	11.0	21.6	0.6	193.0	231.9	176.1	601.0
65	93	57.1	12.8	57.0	10.9	21.6	0.6	191.1	230.9	175.2	597.2
66	94	57.0	13.1	56.8	11.4	21.6	0.6	189.6	228.7	173.9	592.2
67	94	57.0	13.5	57.1	11.1	21.6	0.6	188.3	228.1	172.3	588.7
68	93	57.1	12.8	56.9	10.8	21.6	0.6	186.7	226.5	171.1	584.4
69	93	57.1	12.7	57.0	10.7	21.6	0.6	184.9	225.3	169.5	579.7
70	93	57.0	12.5	56.8	11.1	21.6	0.6	183.6	224.0	168.6	576.2
71	93	56.9	13.1	56.8	11.1	21.6	0.6	182.0	222.8	167.6	572.5
72	93	57.0	12.7	56.9	10.8	21.6	0.6	180.2	220.9	165.1	566.2
73	93	56.9	13.0	56.8	10.8	21.6	0.6	178.9	220.3	163.6	562.7
74	93	57.0	13.1	56.8	10.8	21.6	0.6	177.7	218.4	163.2	559.3
75	93	57.0	13.0	56.8	10.9	21.6	0.6	176.1	217.5	162.0	555.5
76	93	56.9	12.5	57.1	10.8	21.6	0.6	174.2	216.2	160.1	550.5
77	93	57.1	12.6	56.9	10.8	21.6	0.6	173.3	214.9	158.9	547.1
78	93	57.2	12.7	56.9	11.4	21.6	0.6	171.7	213.7	157.0	542.4
79	92	57.2	13.0	56.9	10.8	21.6	0.6	169.8	212.1	156.7	538.6
80	92	57.2	12.6	56.9	10.8	21.6	0.6	168.3	211.2	155.1	534.5
81	92	57.1	12.8	56.8	11.1	21.6	0.7	167.3	210.2	153.8	531.4
82	92	57.0	13.0	56.9	10.8	21.6	0.6	166.1	208.1	152.6	526.7
83	92	57.1	12.6	57.1	11.1	21.6	0.6	164.5	207.1	151.0	522.6
84	92	57.0	12.6	56.7	10.8	21.6	0.6	162.3	206.2	149.5	517.9
85	92	56.9	12.9	56.5	11.3	21.6	0.6	161.7	204.9	148.2	514.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
86	92	57.1	12.6	56.6	11.0	21.6	0.6	160.1	204.0	147.6	511.7
87	92	56.9	13.0	56.6	10.9	21.6	0.7	158.5	203.0	146.3	507.9
88	92	57.0	12.9	56.7	10.8	21.6	0.7	157.0	200.8	145.1	502.9
89	92	57.1	12.6	56.6	10.9	21.6	0.7	155.4	199.3	143.5	498.2
90	91	57.1	12.9	56.6	11.0	21.6	0.6	154.2	199.0	142.6	495.7
91	91	57.0	13.0	56.6	11.3	21.6	0.7	152.9	197.4	141.0	491.3
92	92	56.9	12.9	56.6	11.0	21.6	0.7	151.3	196.1	139.7	487.2
93	92	57.0	13.0	56.6	11.2	21.6	0.7	150.1	194.9	138.5	483.5
94	91	57.1	12.7	56.8	11.1	21.6	0.6	148.5	194.0	137.6	480.0
95	91	57.1	13.0	56.5	11.3	21.6	0.6	147.0	192.7	136.3	475.9
96	91	57.0	13.1	56.7	11.4	21.6	0.6	146.3	191.8	134.7	472.8
97	91	57.1	12.9	56.7	11.7	21.6	0.7	144.8	190.5	133.8	469.1
98	91	57.1	12.7	56.6	11.1	21.6	0.7	143.2	188.3	132.5	464.0
99	91	57.1	12.4	56.5	11.2	21.6	0.7	141.6	187.4	131.3	460.3
100	90	57.1	12.7	56.5	11.2	21.6	0.6	140.7	186.1	130.7	457.5
101	91	56.9	12.8	56.5	11.4	21.6	0.7	138.5	185.2	128.8	452.4
102	91	57.0	12.6	56.6	11.5	21.6	0.7	137.9	184.2	127.8	449.9
103	91	57.0	13.0	56.7	11.1	21.6	0.7	136.0	182.7	126.6	445.2
104	91	57.0	13.0	56.5	11.5	21.6	0.7	135.4	181.7	125.3	442.4
105	91	56.9	12.9	56.3	11.6	21.6	0.6	134.1	180.2	124.4	438.7
106	90	57.1	12.7	56.5	11.4	21.6	0.6	132.9	178.9	123.1	434.9
107	90	57.1	12.6	56.5	11.3	21.6	0.6	131.3	178.0	121.9	431.1
108	90	57.2	12.8	56.6	11.2	21.6	0.6	130.0	176.4	120.9	427.4
109	90	57.1	12.9	56.4	11.7	21.6	0.6	129.1	175.5	119.4	423.9
110	90	57.1	12.6	56.3	11.2	21.6	0.7	128.2	174.2	118.4	420.8
111	90	57.1	12.5	56.1	11.4	21.6	0.6	126.9	172.6	116.9	416.4
112	90	56.9	12.7	56.4	11.2	21.6	0.6	125.3	171.7	116.6	413.6
113	90	57.0	12.7	56.4	11.3	21.6	0.6	124.4	171.4	115.0	410.8
114	90	57.0	12.6	56.3	11.1	21.6	0.6	122.5	169.8	114.4	406.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
115	90	57.1	12.6	56.2	10.9	21.6	0.6	122.2	168.9	112.8	403.9
116	90	57.0	12.5	56.2	11.3	21.6	0.6	120.3	167.6	112.2	400.1
117	90	56.9	12.3	56.2	11.1	21.6	0.6	118.8	166.4	111.2	396.4
118	90	56.9	12.3	56.2	11.3	21.6	0.6	117.8	165.1	109.7	392.6
119	90	57.1	12.2	56.1	11.3	21.6	0.6	116.2	163.9	108.4	388.5
120	90	57.1	12.4	56.2	11.1	21.6	0.6	115.6	162.9	108.1	386.6
121	89	57.1	12.2	56.3	11.0	21.6	0.6	114.1	161.1	106.2	381.3
122	89	57.2	12.2	56.4	11.0	21.6	0.6	113.4	160.1	105.3	378.8
123	88	57.2	12.3	56.4	11.0	21.6	0.6	111.9	159.2	104.3	375.4
124	88	57.1	12.6	56.3	11.3	21.6	0.6	110.3	158.5	103.1	371.9
125	89	56.9	12.7	56.1	10.8	21.6	0.6	110.0	157.3	102.5	369.7
126	89	56.9	12.5	56.2	11.3	21.6	0.7	108.4	156.0	101.5	366.0
127	89	56.9	12.5	56.3	11.3	21.6	0.6	107.2	155.4	100.6	363.1
128	89	57.1	12.5	56.4	11.1	21.6	0.6	106.5	152.9	99.3	358.8
129	88	57.1	12.0	56.3	11.3	21.6	0.7	105.3	152.6	98.1	355.9
130	89	57.1	12.2	56.4	11.0	21.6	0.6	104.0	151.0	97.4	352.5
131	88	57.1	12.2	56.2	10.8	21.6	0.7	103.1	150.4	96.2	349.7
132	88	57.1	12.4	56.2	11.1	21.6	0.6	101.5	148.8	94.9	345.3
133	89	56.9	12.3	56.1	11.1	21.6	0.7	100.6	147.6	94.3	342.5
134	89	56.9	12.5	56.0	11.3	21.6	0.6	99.0	146.6	94.0	339.6
135	89	57.0	12.4	56.2	11.6	21.6	0.6	98.1	146.0	92.7	336.8
136	88	57.1	11.8	56.4	11.2	21.6	0.7	97.4	144.4	92.1	334.0
137	88	57.0	12.2	56.0	11.0	21.6	0.6	95.9	143.5	90.9	330.2
138	88	57.1	11.9	56.1	11.3	21.6	0.6	95.6	142.3	89.9	327.7
139	88	57.0	12.2	56.1	10.8	21.6	0.6	94.3	141.6	89.3	325.2
140	88	57.1	12.2	56.0	11.2	21.6	0.6	94.3	140.7	88.0	323.0
141	88	57.2	11.7	56.0	11.1	21.6	0.7	92.7	139.4	87.1	319.3
142	87	57.2	12.1	56.1	10.8	21.6	0.6	91.5	137.9	86.5	315.8
143	87	57.2	11.9	56.1	11.3	21.6	0.7	90.2	136.6	85.9	312.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
144	87	57.2	12.1	56.1	11.5	21.6	0.6	89.0	136.3	84.9	310.2
145	87	56.9	11.8	55.8	11.2	21.6	0.6	88.0	135.4	84.0	307.4
146	87	57.1	11.9	55.8	11.0	21.6	0.6	87.1	133.8	83.0	303.9
147	87	57.1	11.8	56.1	10.9	21.6	0.6	86.2	132.5	82.1	300.8
148	87	56.9	12.0	56.0	10.8	21.6	0.6	85.5	131.6	81.5	298.6
149	87	56.9	12.0	55.8	10.8	21.6	0.7	84.6	130.7	80.5	295.8
150	87	56.9	11.8	56.0	10.9	21.6	0.6	83.7	129.7	79.9	293.3
151	87	57.1	11.5	56.0	10.8	21.6	0.5	82.4	128.8	79.0	290.1
152	86	57.2	11.7	56.1	10.9	21.6	0.6	81.5	127.8	77.4	286.7
153	87	57.0	11.7	55.9	10.9	21.6	0.6	80.5	126.6	76.8	283.9
154	86	57.1	11.9	55.8	11.3	21.6	0.6	80.5	126.3	76.5	283.3
155	87	56.9	11.9	55.9	11.3	21.6	0.7	79.6	125.0	76.1	280.7
156	87	56.8	11.9	55.6	11.1	21.6	0.7	78.0	123.8	75.2	277.0
157	87	56.9	11.6	55.8	10.8	21.6	0.7	77.1	122.5	74.3	273.9
158	87	57.1	11.7	56.0	10.6	21.6	0.6	76.5	121.6	73.6	271.7
159	87	57.0	11.6	55.7	10.7	21.6	0.6	75.2	120.3	72.7	268.2
160	87	56.9	11.4	55.8	10.9	21.6	0.6	74.6	119.7	71.8	266.0
161	87	57.1	11.9	55.8	10.4	21.6	0.6	73.9	118.4	71.1	263.5
162	86	57.2	11.4	55.9	10.8	21.6	0.6	73.0	117.5	70.2	260.7
163	86	57.2	11.4	55.8	11.1	21.6	0.6	72.4	116.9	69.6	258.8
164	86	57.2	11.7	56.1	10.9	21.6	0.6	71.8	115.3	68.9	256.0
165	85	57.1	11.4	56.0	10.7	21.6	0.7	71.1	115.0	68.0	254.1
166	86	57.0	11.9	55.8	11.1	21.6	0.7	69.9	113.4	67.7	251.0
167	86	56.8	11.9	55.7	10.8	21.6	0.7	68.9	112.5	66.7	248.2
168	87	56.9	12.0	55.7	11.0	21.6	0.6	68.6	111.9	66.1	246.6
169	87	56.9	11.9	55.7	11.1	21.6	0.7	67.4	110.9	65.5	243.8
170	87	56.8	12.2	55.6	11.5	21.6	0.6	67.1	110.3	64.9	242.2
171	87	57.0	12.0	55.7	11.3	21.6	0.6	65.8	109.0	64.2	239.1
172	87	57.1	11.8	55.6	11.3	21.6	0.6	64.9	108.7	63.0	236.6

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
173	87	57.1	11.9	55.6	11.4	21.6	0.7	64.2	106.8	62.4	233.4
174	87	56.9	11.8	55.4	11.6	21.6	0.6	63.9	106.5	61.4	231.9
175	87	56.9	12.0	55.3	11.5	21.6	0.6	62.7	105.9	61.4	230.0
176	87	56.9	12.2	55.1	11.7	21.6	0.6	62.0	105.0	60.5	227.5
177	87	57.1	11.7	55.5	11.6	21.6	0.6	60.8	103.4	59.5	223.7
178	87	57.1	11.9	55.5	11.4	21.6	0.6	60.5	102.8	58.9	222.2
179	87	56.9	12.0	55.2	11.3	21.6	0.7	59.5	102.5	58.3	220.3
180	87	57.0	12.2	55.3	11.8	21.6	0.6	58.6	101.2	58.0	217.8
181	87	57.1	11.8	55.5	11.8	21.6	0.6	58.3	100.0	57.3	215.6
182	87	56.9	11.9	55.3	11.7	21.6	0.6	57.7	99.0	56.4	213.1
183	87	56.9	11.8	55.3	11.6	21.6	0.6	57.0	98.4	55.8	211.2
184	87	57.1	11.8	55.5	11.5	21.6	0.7	56.4	97.4	55.5	209.3
185	87	57.1	11.7	55.4	11.4	21.6	0.6	55.8	96.8	54.8	207.4
186	87	56.9	11.8	55.2	11.6	21.6	0.7	55.1	95.9	54.2	205.2
187	87	56.9	11.7	55.2	11.6	21.6	0.7	54.8	95.3	53.9	204.0
188	87	57.1	11.7	55.4	11.3	21.6	0.7	53.6	94.3	53.0	200.8
189	87	57.1	11.8	55.4	11.5	21.6	0.6	53.0	93.4	51.7	198.0
190	87	57.1	11.6	55.5	11.4	21.6	0.6	52.3	92.7	51.7	196.8
191	87	56.9	11.9	55.3	11.5	21.6	0.7	51.7	92.1	51.1	194.9
192	87	56.9	12.1	55.4	11.6	21.6	0.7	51.1	91.5	50.8	193.3
193	87	57.1	11.8	55.4	11.3	21.6	0.6	50.8	90.9	49.8	191.4
194	87	56.9	11.7	55.3	11.6	21.6	0.6	49.8	89.6	49.5	188.9
195	87	56.9	11.8	55.1	11.6	21.6	0.7	49.2	89.0	49.2	187.4
196	87	57.1	11.6	55.4	11.4	21.6	0.6	48.3	88.0	48.3	184.6
197	87	57.1	11.6	55.3	11.5	21.6	0.7	48.3	87.4	47.6	183.3
198	87	57.0	11.6	55.2	11.7	21.6	0.7	47.6	86.5	47.3	181.4
199	87	56.9	11.8	55.0	11.9	21.6	0.6	47.3	85.2	47.0	179.5
200	87	56.9	11.6	54.9	12.0	21.6	0.6	46.7	84.9	46.1	177.7
201	87	57.1	11.6	55.0	11.5	21.6	0.7	45.7	84.3	45.7	175.8



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
202	87	57.1	11.6	55.2	11.7	21.6	0.7	45.4	83.3	45.1	173.9
203	87	56.9	11.5	55.1	11.6	21.6	0.6	44.8	82.4	44.5	171.7
204	87	56.9	11.5	55.2	11.3	21.6	0.7	44.8	81.8	44.2	170.8
205	87	57.2	11.5	55.4	11.5	21.6	0.7	43.9	81.5	43.9	169.2
206	87	57.0	11.3	55.2	11.4	21.6	0.7	42.9	80.5	43.6	167.0
207	87	57.0	11.5	55.1	11.5	21.6	0.6	42.6	79.6	42.9	165.1
208	87	56.9	11.7	55.0	11.3	21.6	0.6	42.0	78.6	42.6	163.2
209	87	57.0	11.5	55.1	11.6	21.6	0.6	42.0	78.6	42.3	162.9
210	87	57.0	11.7	55.2	11.5	21.6	0.6	41.4	77.1	41.7	160.1
211	87	56.9	11.4	55.1	11.7	21.6	0.6	41.4	77.1	41.0	159.5
212	87	57.0	11.4	55.2	11.5	21.6	0.7	40.4	76.5	40.4	157.3
213	87	57.0	11.3	55.2	11.3	21.6	0.6	40.1	75.5	39.8	155.4
214	87	57.2	11.5	55.2	11.3	21.6	0.6	39.5	75.2	39.5	154.2
215	87	57.1	11.7	55.1	11.6	21.6	0.6	38.9	74.6	39.2	152.6
216	86	57.1	11.7	55.0	11.4	21.6	0.6	38.2	74.3	38.9	151.3
217	86	57.1	11.5	55.1	11.3	21.6	0.6	37.9	73.3	38.2	149.5
218	86	57.2	11.2	55.0	11.5	21.6	0.7	37.6	72.7	37.9	148.2
219	85	57.2	11.1	55.0	11.5	21.6	0.7	37.0	72.1	37.9	147.0
220	85	57.1	11.3	54.9	11.7	21.6	0.7	36.7	71.8	37.6	146.0
221	85	56.9	11.7	54.9	11.8	21.6	0.6	36.7	70.5	37.0	144.1
222	85	57.1	11.7	55.0	11.5	21.6	0.7	36.0	70.2	37.0	143.2
223	85	57.0	11.3	55.0	12.0	21.6	0.6	35.7	69.9	36.0	141.6
224	85	57.0	11.6	55.0	11.9	21.6	0.6	35.4	68.9	35.7	140.1
225	85	57.0	11.5	55.0	11.7	21.6	0.6	35.1	68.0	35.1	138.2
226	85	57.1	11.7	55.0	11.7	21.6	0.7	34.5	67.7	35.4	137.6
227	85	57.1	11.6	54.8	11.7	21.6	0.6	34.2	67.7	35.1	136.9
228	85	57.0	11.5	54.6	12.2	21.6	0.6	33.5	66.4	34.2	134.1
229	85	57.1	11.4	54.7	12.3	21.6	0.6	33.2	66.7	34.2	134.1
230	85	57.1	11.4	54.9	11.8	21.6	0.6	32.9	65.5	33.5	131.9

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
231	84	57.1	11.4	54.9	11.9	21.6	0.6	32.3	64.5	33.2	130.0
232	84	57.2	11.8	54.9	11.9	21.6	0.6	32.0	63.9	32.6	128.5
233	84	57.1	11.6	54.8	12.0	21.6	0.7	31.6	63.9	32.3	127.8
234	84	56.9	11.4	54.5	12.2	21.6	0.7	31.6	63.3	32.3	127.2
235	84	57.2	11.4	54.9	11.7	21.6	0.6	31.6	62.4	31.3	125.3
236	84	57.0	11.6	54.8	12.0	21.6	0.6	30.7	61.7	31.3	123.8
237	84	56.9	11.7	54.9	11.8	21.6	0.6	30.4	61.4	31.3	123.1
238	84	57.1	11.5	55.0	11.7	21.6	0.7	30.1	61.1	30.7	121.9
239	84	56.9	11.8	54.5	12.2	21.6	0.6	29.8	60.8	30.7	121.3
240	84	57.1	11.7	54.5	12.3	21.6	0.7	29.5	59.8	30.4	119.7
241	84	57.1	11.7	54.7	12.2	21.6	0.7	29.5	58.9	30.1	118.4
242	84	56.9	11.7	54.5	12.1	21.6	0.6	28.8	58.6	29.1	116.6
243	84	57.1	11.3	54.6	12.4	21.6	0.6	28.5	58.6	28.8	115.9
244	84	57.0	11.5	54.5	12.4	21.6	0.7	28.2	57.7	28.8	114.7
245	84	57.0	11.7	54.5	12.0	21.6	0.6	27.9	57.3	28.5	113.7
246	84	57.0	11.6	54.6	12.2	21.6	0.6	27.3	56.7	28.5	112.5
247	84	57.0	11.7	54.5	12.2	21.6	0.6	27.3	56.4	27.9	111.5
248	84	57.0	11.4	54.6	12.0	21.6	0.7	26.9	55.8	27.9	110.6
249	84	56.9	11.9	54.4	12.2	21.6	0.7	26.9	55.5	27.9	110.3
250	84	57.1	11.7	54.7	12.7	21.6	0.6	26.6	54.5	27.3	108.4
251	84	57.0	11.6	54.7	12.0	21.6	0.6	26.0	54.5	27.3	107.8
252	84	57.0	11.6	54.6	11.8	21.6	0.7	26.3	53.6	26.9	106.8
253	84	57.0	11.7	54.6	12.4	21.6	0.7	25.1	53.6	27.3	105.9
254	84	57.0	11.6	54.7	12.2	21.6	0.6	25.4	53.0	26.6	105.0
255	83	57.1	11.7	54.8	12.1	21.6	0.6	25.4	52.6	26.3	104.3
256	84	56.9	11.7	54.5	12.2	21.6	0.7	25.1	52.3	26.0	103.4
257	84	57.0	11.3	54.6	12.4	21.6	0.7	24.8	51.4	25.7	101.8
258	84	57.1	11.7	54.6	12.2	21.6	0.6	25.1	51.4	26.0	102.5
259	84	57.0	11.6	54.7	12.3	21.6	0.7	25.1	50.8	25.4	101.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
260	84	56.9	11.7	54.6	12.5	21.6	0.6	24.4	50.4	25.1	100.0
261	84	57.0	11.5	54.8	12.1	21.6	0.6	23.8	49.8	25.4	99.0
262	84	56.9	11.7	54.5	11.9	21.6	0.6	23.2	49.2	24.8	97.1
263	84	57.1	11.3	54.6	12.2	21.6	0.7	23.5	49.2	24.8	97.4
264	84	57.1	11.7	54.5	12.9	21.6	0.7	23.2	48.6	24.1	95.9
265	84	56.9	12.0	54.5	12.4	21.6	0.6	23.2	48.3	23.8	95.3
266	84	57.0	11.6	54.4	12.6	21.6	0.6	22.9	47.6	23.8	94.3
267	84	56.9	11.5	54.4	12.4	21.6	0.6	22.9	47.6	23.8	94.3
268	84	57.1	11.7	54.5	12.1	21.6	0.6	21.9	47.0	23.5	92.4
269	84	56.9	12.0	54.3	12.2	21.6	0.6	21.6	46.7	23.8	92.1
270	84	57.1	11.3	54.3	12.3	21.6	0.7	21.9	46.7	23.5	92.1
271	84	57.1	11.7	54.6	12.6	21.6	0.7	21.6	45.7	22.9	90.2
272	84	56.9	11.9	54.3	12.3	21.6	0.7	21.3	46.1	22.9	90.2
273	84	57.1	11.3	54.4	12.2	21.6	0.6	21.0	44.8	22.9	88.7
274	84	57.0	11.6	54.5	12.2	21.6	0.7	21.0	44.8	23.2	89.0
275	84	56.9	11.7	54.5	12.2	21.6	0.7	21.0	45.1	22.6	88.7
276	83	57.2	11.5	54.8	12.0	21.6	0.6	20.7	44.5	22.9	88.0
277	83	57.1	11.9	54.5	12.3	21.6	0.6	20.7	44.2	22.6	87.4
278	83	57.0	11.7	54.5	12.4	21.6	0.7	20.7	43.6	21.6	85.9
279	83	57.1	11.6	54.4	12.2	21.6	0.6	19.7	43.6	22.6	85.9
280	83	57.1	11.5	54.5	12.5	21.6	0.7	20.4	42.6	21.9	84.9
281	83	57.1	11.3	54.6	12.2	21.6	0.7	20.4	42.3	21.6	84.3
282	83	57.1	11.7	54.6	12.2	21.6	0.6	20.1	42.3	21.3	83.7
283	83	57.1	11.6	54.5	12.2	21.6	0.6	20.1	41.7	21.3	83.0
284	82	57.1	11.8	54.5	12.5	21.6	0.6	19.4	41.4	21.3	82.1
285	82	57.1	11.3	54.6	12.2	21.6	0.7	19.7	41.4	21.0	82.1
286	82	57.0	11.9	54.4	12.2	21.6	0.6	19.1	41.0	21.0	81.2
287	82	57.0	11.6	54.3	12.6	21.6	0.6	19.1	40.4	20.4	79.9
288	83	56.9	11.6	54.1	12.6	21.6	0.6	19.1	40.4	20.7	80.2

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
289	83	56.9	11.4	54.1	12.7	21.6	0.7	18.5	39.8	20.7	79.0
290	83	56.8	11.7	54.2	12.6	21.6	0.6	18.5	40.1	20.4	79.0
291	84	56.8	11.7	54.3	12.4	21.6	0.7	17.9	39.5	20.4	77.7
292	84	56.9	11.7	54.4	12.2	21.6	0.6	18.5	39.8	20.1	78.3
293	83	57.1	11.8	54.6	12.2	21.6	0.7	18.2	39.2	20.1	77.4
294	83	57.1	11.7	54.4	12.3	21.6	0.7	17.9	38.5	20.7	77.1
295	83	57.1	11.4	54.3	12.5	21.6	0.6	18.2	38.5	19.7	76.5
296	83	57.1	11.7	54.3	12.2	21.6	0.7	17.9	38.2	19.7	75.8
297	83	57.1	11.5	54.4	12.2	21.6	0.6	17.9	38.2	19.4	75.5
298	83	57.0	11.7	54.5	12.3	21.6	0.6	17.5	37.9	19.7	75.2
299	83	57.0	11.8	54.3	12.2	21.6	0.7	17.5	37.0	19.4	73.9
300	83	57.0	11.4	54.2	12.6	21.6	0.6	17.5	37.3	19.4	74.3
301	83	57.0	11.5	54.3	12.2	21.6	0.6	17.2	37.0	19.1	73.3
302	83	57.0	11.4	54.4	12.4	21.6	0.6	17.5	36.7	19.4	73.6
303	83	57.1	11.3	54.4	12.2	21.6	0.7	16.9	36.3	19.1	72.4
304	82	57.2	11.4	54.2	12.6	21.6	0.6	16.6	36.3	18.8	71.8
305	82	57.1	11.2	54.4	12.6	21.6	0.7	16.9	36.0	18.8	71.8
306	82	56.9	11.5	54.2	12.7	21.6	0.7	16.6	35.4	18.8	70.8
307	82	57.0	11.7	54.3	12.1	21.6	0.7	16.9	35.7	18.8	71.4
308	82	57.1	11.2	54.4	12.4	21.6	0.7	16.3	35.1	19.1	70.5
309	82	57.1	11.6	54.5	12.0	21.6	0.7	16.6	35.4	19.1	71.1
310	82	56.9	11.4	54.3	12.2	21.6	0.6	16.0	35.1	18.5	69.6
311	82	57.1	11.3	54.4	12.3	21.6	0.6	16.0	35.1	18.5	69.6
312	82	57.0	11.5	54.3	12.2	21.6	0.6	16.0	34.5	18.8	69.2
313	83	56.9	11.4	54.1	12.3	21.6	0.6	16.3	33.8	18.5	68.6
314	83	56.9	11.3	54.3	12.4	21.6	0.6	15.7	34.2	17.9	67.7
315	83	57.1	11.4	54.2	12.5	21.6	0.6	16.0	34.2	18.2	68.3
316	82	57.1	11.1	54.4	12.2	21.6	0.6	16.0	34.2	18.5	68.6
317	82	57.1	11.3	54.5	12.5	21.6	0.6	16.0	33.5	18.2	67.7

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
318	82	57.0	11.6	54.2	12.4	21.6	0.6	15.7	33.5	18.5	67.7
319	83	56.9	11.5	54.2	12.5	21.6	0.6	15.4	33.2	18.2	66.7
320	83	56.9	11.5	54.2	12.3	21.6	0.6	15.7	33.2	17.9	66.7
321	83	56.9	11.3	54.0	12.2	21.6	0.7	15.0	32.6	17.5	65.2
322	83	56.9	11.5	54.0	12.6	21.6	0.7	14.7	32.9	17.9	65.5
323	83	56.9	11.3	54.2	12.2	21.6	0.7	15.4	32.0	17.2	64.5
324	83	56.9	11.3	54.2	12.4	21.6	0.7	15.4	32.0	17.5	64.9
325	83	56.9	11.1	54.1	12.0	21.6	0.7	14.7	32.0	17.9	64.5
326	84	56.9	11.5	54.0	12.6	21.6	0.6	15.0	32.0	17.9	64.9
327	84	56.9	11.3	54.0	12.6	21.6	0.6	14.7	31.6	17.5	63.9
328	84	57.0	10.9	53.9	12.5	21.6	0.6	14.7	32.0	17.5	64.2
329	84	56.9	11.6	54.0	12.8	21.6	0.7	14.1	31.3	17.2	62.7
330	84	57.0	11.4	54.0	12.6	21.6	0.6	14.1	31.6	17.5	63.3
331	84	57.0	11.3	54.2	12.2	21.6	0.7	14.7	31.6	17.5	63.9
332	84	57.1	11.4	54.2	12.2	21.6	0.7	14.7	31.0	17.5	63.3
333	84	57.0	11.4	54.1	12.3	21.6	0.6	14.7	30.7	17.2	62.7
334	84	57.1	11.5	54.1	12.4	21.6	0.7	14.4	31.0	17.2	62.7
335	83	57.1	11.4	54.2	12.4	21.6	0.7	14.1	30.7	17.2	62.0
336	83	57.1	11.2	54.0	12.6	21.6	0.6	14.1	30.4	17.5	62.0
337	83	57.1	11.0	54.3	12.2	21.6	0.6	14.1	30.7	17.5	62.4
338	83	57.1	11.3	54.3	12.2	21.6	0.7	13.8	30.4	17.2	61.4
339	83	57.1	11.3	54.4	12.4	21.6	0.6	14.1	30.1	16.9	61.1
340	83	57.1	11.6	54.4	12.2	21.6	0.7	14.1	30.1	16.9	61.1
341	82	57.2	11.3	54.3	12.3	21.6	0.7	14.1	29.8	16.9	60.8
342	82	57.1	11.5	54.1	12.4	21.6	0.7	14.1	29.8	17.2	61.1
343	83	56.9	11.3	54.0	12.2	21.6	0.6	13.5	29.5	17.5	60.5
344	83	57.0	11.4	54.0	12.3	21.6	0.7	13.8	29.1	16.6	59.5
345	82	57.1	11.3	54.3	12.2	21.6	0.6	13.5	29.8	17.5	60.8
346	82	57.0	11.3	54.3	12.4	21.6	0.7	14.1	29.5	17.2	60.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
347	82	56.9	11.6	54.2	12.2	21.6	0.6	13.8	29.1	16.9	59.8
348	83	56.9	11.5	54.3	12.2	21.6	0.7	13.8	29.5	17.2	60.5
349	82	57.1	10.9	54.4	12.2	21.6	0.7	13.5	28.8	16.6	58.9
350	82	57.0	11.5	54.2	12.1	21.6	0.6	13.2	28.8	16.6	58.6
351	83	56.8	11.1	54.0	12.5	21.6	0.7	13.2	28.5	17.2	58.9
352	82	57.1	11.2	54.1	12.2	21.6	0.6	13.2	28.5	16.9	58.6
353	82	57.1	11.5	54.2	12.4	21.6	0.6	13.8	28.8	16.6	59.2
354	82	57.0	11.2	54.2	12.7	21.6	0.6	13.5	28.5	16.0	58.0
355	82	57.0	11.1	54.2	12.1	21.6	0.7	13.8	28.2	16.6	58.6
356	82	57.0	11.3	54.3	12.6	21.6	0.6	13.2	27.9	16.3	57.3
357	82	57.0	11.3	54.3	12.4	21.6	0.6	13.5	27.9	16.9	58.3
358	83	56.9	11.3	54.3	12.5	21.6	0.7	13.2	27.9	16.9	58.0
359	82	57.1	11.6	54.3	12.5	21.6	0.7	13.2	27.9	16.3	57.3
360	82	57.1	11.3	54.3	12.5	21.6	0.6	13.5	27.6	16.6	57.7
361	83	56.9	11.4	54.0	12.4	21.6	0.6	13.2	27.6	16.6	57.3
362	82	57.1	11.3	54.2	12.2	21.6	0.6	13.5	27.9	16.9	58.3
363	82	56.9	11.3	54.0	12.6	21.6	0.6	12.8	27.9	16.9	57.7
364	82	56.9	11.5	54.0	12.4	21.6	0.6	12.5	27.9	16.9	57.3
365	82	57.2	11.3	54.3	12.1	21.6	0.6	13.2	27.3	16.3	56.7
366	82	57.1	11.1	54.2	12.2	21.6	0.6	12.8	27.3	16.6	56.7
367	82	56.9	11.3	54.1	12.4	21.6	0.6	13.8	27.3	16.3	57.3
368	82	57.1	11.4	54.4	11.9	21.6	0.7	12.8	27.3	16.9	57.0
369	82	57.0	11.0	54.3	12.4	21.6	0.7	12.8	27.9	16.9	57.7
370	83	56.9	11.1	54.2	12.3	21.6	0.7	12.8	27.9	16.6	57.3
371	82	57.0	11.3	54.2	12.2	21.6	0.7	12.5	27.3	16.6	56.4
372	82	57.1	11.2	54.0	12.0	21.6	0.6	12.5	27.3	16.0	55.8
373	82	57.1	11.3	54.2	12.2	21.6	0.6	12.8	26.9	16.6	56.4
374	82	56.9	11.3	54.0	12.7	21.6	0.7	12.5	27.3	16.6	56.4
375	82	56.9	11.3	54.0	12.3	21.6	0.7	12.8	26.9	16.0	55.8

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
376	82	57.0	11.1	54.2	12.5	21.6	0.7	11.9	26.9	16.9	55.8
377	82	57.1	11.4	54.3	12.2	21.6	0.6	13.2	26.6	16.3	56.1
378	82	57.0	11.4	54.2	12.2	21.6	0.7	12.8	26.6	16.6	56.1
379	82	57.1	11.3	54.0	12.4	21.6	0.6	12.5	26.9	16.3	55.8
380	82	57.1	11.4	53.9	12.1	21.6	0.6	12.5	26.6	16.3	55.5
381	82	57.1	11.1	53.8	12.5	21.6	0.6	12.5	26.6	16.3	55.5
382	81	57.2	11.0	54.0	12.4	21.6	0.7	12.2	26.6	16.6	55.5
383	81	57.2	11.2	54.2	12.1	21.6	0.7	12.2	26.6	16.9	55.8
384	80	57.2	11.3	54.1	12.5	21.6	0.7	12.5	26.0	16.3	54.8
385	81	57.1	11.2	53.9	12.5	21.6	0.6	11.9	26.3	16.3	54.5
386	81	57.0	11.1	53.9	12.4	21.6	0.6	12.2	26.6	16.3	55.1
387	80	57.1	11.2	54.0	12.5	21.6	0.7	12.5	26.6	16.3	55.5
388	80	57.0	11.2	53.8	12.3	21.6	0.6	12.5	26.3	16.3	55.1
389	81	56.9	11.3	53.7	12.4	21.6	0.7	12.5	26.3	16.3	55.1
390	81	56.9	11.3	53.7	12.6	21.6	0.7	12.5	26.0	16.6	55.1
391	81	56.9	11.2	53.7	12.7	21.6	0.6	12.2	26.0	16.0	54.2
392	80	57.1	11.0	54.0	12.2	21.6	0.7	12.5	26.3	16.0	54.8

[htbp]

TABLA 5. Conjunto de datos 5

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
1	98	56.7	12.4	60	9.7	20	0.53	147.3	144.8	122.5	425.1
2	98	59	12.2	61.9	9	20	0.54	145.7	143.5	120.3	420.1
3	98	60.2	12.1	63.2	8.2	20	0.47	143.8	142.6	121.3	418.2
4	98	61.1	11.9	63.9	8.2	20	0.5	142.3	141.6	118.1	412.6
5	98	52.6	14.8	58.1	10.1	20	0.52	164.2	115.3	150.4	440.5
6	98	58.1	13.2	61.2	9.1	20	0.51	163.2	115	147.9	436.7
7	98	60.1	12	63	8.4	20	0.49	160.4	113.7	145.4	430.1
8	98	61.4	11.6	64.2	7.9	20	0.55	159.5	111.5	145.4	427

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
9	98	62.4	11.8	65	7.5	20	0.5	157	111.2	143.5	422.3
17	100	35	36.2	37.2	39.7	20	-0.1	120.6	89	105.9	326.1
18	100	37.8	34.5	37.9	27.9	20	1.2	151.7	110	138.2	410.4
19	95	48.1	21.3	48.3	16.4	20	0.52	150.4	106.8	138.8	406.6
20	95	53.1	17.1	54.4	12	20	0.57	148.8	106.8	136.3	402.6
21	95	55.7	15.4	57.6	10	20	0.58	146.6	104.7	134.1	396
22	95	57.6	13.7	59.4	9	20	0.51	145.1	101.8	132.2	389.7
23	95	58.9	12.5	60.7	9.2	20	0.58	143.2	100.3	129.7	383.8
24	95	59.7	12.9	61.8	8.3	20	0.57	140.7	101.5	127.2	380
25	95	60.3	12.4	62.4	8.6	20	0.62	138.8	98.7	125.6	373.7
26	95	61.1	12	63	7.8	20	0.55	136.9	96.5	123.5	367.5
27	95	61.5	12	63.2	7.9	20	0.51	134.4	94.9	121.6	361.5
28	95	61.8	11.6	63.4	7.5	20	0.58	132.9	93.1	120.3	356.8
29	95	62.2	10.6	63.6	8.1	20	0.55	130.3	92.4	116.9	350.2
30	95	62.3	11.1	63.8	7.8	20	0.61	128.2	89	115.6	343.4
31	95	62.5	11	63.7	7.9	20	0.59	129.7	88.4	111.2	339.9
32	95	62.6	10.5	63.8	7.7	20	0.58	124.1	87.7	111.9	334.3
33	95	62.8	11.1	63.9	7.4	20	0.57	120	86.8	110.6	328
34	95	63	10.4	64.2	7.4	20	0.66	117.8	84.3	109.4	322.1
35	95	63.2	10.8	64.2	7.7	20	0.6	119.1	82.7	105.3	317.7
36	95	63	10.4	64.2	7.3	20	0.53	116.9	81.5	103.1	312
37	95	63	10.6	64.2	7.3	20	0.6	114.7	79.9	102.5	307.6
38	98	63.7	10.3	64.6	7	20	0.54	113.4	79	99.6	302.6
39	98	64	10	65.1	7.1	20	0.57	111.5	78	97.1	297.3
40	98	64.2	10.3	65.2	7.6	20	0.59	105.3	75.5	99.3	290.7
41	98	64.4	10	65.3	7	20	0.58	106.8	75.5	93.7	286.6
42	99	64.7	10.2	65.6	7.4	20	0.57	105.3	73	91.5	280.4
43	100	64.7	9.8	65.7	6.7	20	0.62	103.1	71.4	89.3	274.4
44	100	64.8	9.9	65.9	6.9	20	0.6	101.5	69.9	87.4	269.4



S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
45	100	65.1	9.5	66.2	6.9	20	0.53	100	68.6	85.2	264.4
46	99	65.3	9.5	66.5	6.5	20	0.59	97.4	67.7	84	259.7
47	99	65.1	9.6	66.3	6.4	20	0.6	94.9	65.8	83	254.4
48	99	65.1	9.5	65.9	6.6	20	0.66	93.1	63.6	81.2	248.4
49	99	65.1	9.7	66.2	6.5	20	0.6	91.5	62.7	78	242.8
50	99	65	9.7	66.1	6.5	20	0.54	89.3	61.4	76.5	237.8
51	98	65.1	9.8	66	6.4	20	0.59	83	61.1	77.7	232.4
52	98	65.3	9.4	66	6.8	20	0.54	84.3	59.5	74.6	229
53	98	65.1	9.8	65.9	7.4	20	0.56	85.2	57	72.1	224.9
54	97	65.1	9.4	65.9	7.2	20	0.57	81.8	56.4	70.8	219.6
55	98	64.9	8.9	65.6	7	20	0.59	81.5	54.8	69.2	216.1
56	97	65.1	9.5	65.8	7	20	0.54	80.2	53.9	67.7	212.4
57	97	65.2	9.6	66	6.6	20	0.52	78.3	53	66.4	208.3
58	97	65.1	9	65.7	7.2	20	0.51	76.8	50.4	64.2	202
59	97	65.1	9.1	65.5	7.1	20	0.59	74.9	49.5	63.3	198.3
60	97	65	8.7	65.7	7	20	0.57	73	48.3	61.1	193
61	97	64.9	9.2	65.5	6.9	20	0.57	73	45.7	58	187.3
62	97	65	9.4	65.5	6.9	20	0.56	69.9	45.7	58	184.2
63	95	65.6	9	66.1	7.1	20	0.52	68.3	44.8	56.7	180.4
64	93	65.9	9.4	66.5	6.9	20	0.56	67.1	42.9	55.5	176
65	92	65.6	9	66.5	7.2	20	0.6	66.4	41.4	53.6	172
66	91	65.4	9.4	66.1	6.5	20	0.54	65.2	40.1	51.4	167.3
67	91	65.3	9.5	66.1	7.4	20	0.58	63.3	38.2	51.1	163.2
68	91	65.2	9.8	65.9	7	20	0.52	61.4	37.6	49.2	158.8
69	90	65.1	9	65.7	7	20	0.54	60.5	36	47.9	155
70	91	65	9.6	65.5	7.7	20	0.51	60.8	35.1	46.4	152.9
71	90	65.1	9.1	65.5	7.3	20	0.52	58.3	35.1	44.5	148.5
72	90	65.1	9.8	65.5	7	20	0.56	57	32.9	43.2	143.8
73	90	65.1	8.9	65.5	7.3	20	0.52	56.1	31.6	42.6	140.9

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
74	89	65.3	9.1	65.5	6.9	20	0.47	54.5	30.4	41	136.6
75	89	65.1	9	65.5	7	20	0.5	53.3	28.8	39.8	132.5
76	90	64.9	9.1	65.1	6.9	20	0.51	52	27.9	38.5	129
77	89	65	9.3	65.3	6.6	20	0.49	51.7	27.3	37	126.5
78	89	65.1	8.5	65.2	7.1	20	0.53	50.4	25.7	36.3	123.1
79	89	65.1	8.8	65.2	7	20	0.55	48.9	25.1	34.8	119.3
80	89	65.1	9.1	65.1	7.3	20	0.53	47.9	23.5	33.2	115.3
81	89	65.1	8.6	65	7.2	20	0.51	47.6	22.2	32.6	113.1
82	88	65.1	9.1	65	7.5	20	0.51	44.2	21.6	32.9	109.3
83	88	65.3	8.2	65.1	7.1	20	0.49	45.1	20.7	30.7	107.1
84	88	65.2	8.7	64.9	7.7	20	0.52	44.5	18.8	28.5	102.4
85	88	65	9.5	64.7	8.2	20	0.54	44.5	17.9	28.2	101.2
86	88	65	9.2	64.5	7	20	0.48	42.6	17.2	26.9	97.4
87	88	64.9	8.1	64.5	7.3	20	0.52	41.4	16.3	26.6	94.9
88	88	65	8.8	64.4	7.1	20	0.42	40.7	15.4	25.1	91.8
89	87	65.1	8.7	64.7	7.8	20	0.5	40.1	15	24.1	89.9
90	87	65.1	8.1	64.4	7.4	20	0.55	38.9	13.2	23.8	86.4
91	87	65.1	8.4	64.3	7.4	20	0.51	38.9	13.2	22.6	85.2
92	87	65	9.2	64.2	7.1	20	0.55	37.9	11.6	21.9	82
93	87	65.1	9	64.3	7.4	20	0.54	37	10.7	20.7	78.9
94	86	65.1	7.9	64.2	6.9	20	0.54	37	9.7	19.7	77
95	86	65.1	7.9	63.8	7.5	20	0.49	36	9.7	19.1	75.5
96	86	65.3	8.4	64	8.2	20	0.48	34.8	8.1	17.9	71.4
97	85	65.2	8.1	63.8	6.9	20	0.54	35.1	7.5	17.5	70.8
98	86	65	8.2	63.8	7.7	20	0.51	34.5	7.2	17.5	69.8
99	85	65.1	8.2	63.6	7	20	0.46	33.5	6.6	16.3	67
100	85	65.1	7.8	63.9	7.6	20	0.51	33.5	5.6	15.4	65.1
101	84	65.2	8.3	63.7	7.7	20	0.56	33.2	5.3	15.7	64.8
102	84	65.1	8.6	63.6	7.8	20	0.56	31.6	4.1	13.8	60.1

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
103	84	65.1	8.1	63.6	7.4	20	0.51	31.3	4.1	13.8	59.8
104	84	65	8.5	63.4	7.9	20	0.53	30.7	3.4	13.5	58.2
105	84	65.1	7.5	63.2	7.3	20	0.49	31.6	3.1	11.9	57.3
106	84	65.2	8.5	63.4	7.8	20	0.53	30.7	1.9	12.5	55.7
107	84	65.1	7.9	63.2	8.2	20	0.5	30.4	1.9	11.6	54.5
108	83	65.1	8	63.2	8.7	20	0.53	31	0.6	8.8	51
109	83	65.1	7.6	63	7.6	20	0.55	29.1	0	10.3	50.1
110	83	65.1	7.3	63	7.4	20	0.48	28.8	0	10	49.5
111	83	65.1	8.2	62.9	7.8	20	0.55	28.5	-0.3	10.3	49.1
112	83	64.9	7.9	62.6	8.2	20	0.53	27.6	-0.6	9.7	47.3
113	83	65.1	7.9	62.8	7.4	20	0.55	27.6	-0.9	9.4	46.6
114	83	65	7.8	62.6	7.8	20	0.55	27.6	-1.3	9.1	46
115	83	65	7.4	62.6	8.4	20	0.52	26.9	-2.2	8.5	43.8
116	83	65.2	7.3	62.7	8.2	20	0.61	26.9	-2.2	8.1	43.5
117	82	65.1	7.7	62.5	8.7	20	0.55	26.6	-2.5	7.8	42.6
118	82	65.1	8.4	62.3	7.9	20	0.49	27.3	-3.1	7.8	42.6
119	82	65.2	7.4	62.3	7.7	20	0.5	26.9	-3.1	7.5	41.9
120	82	65.1	7.4	62.6	8.5	20	0.52	26.6	-2.5	6.9	41.6
121	81	65.1	7.4	62.4	7.4	20	0.49	26.3	-3.4	7.5	41
122	81	65.1	7.4	62.4	7.7	20	0.55	26.6	-3.8	6.3	39.7
123	81	65	8.4	62.2	8.1	20	0.56	26.6	-3.4	5.6	39.4
124	81	64.9	7.4	62.2	7.7	20	0.54	25.1	-3.8	5.3	37.2
125	81	65	7.7	62.4	7.3	20	0.54	25.1	-3.4	5.6	37.9
126	81	65	7.3	62.3	7.6	20	0.47	25.4	-3.8	5.3	37.5
127	81	65	7.4	62	7.8	20	0.52	25.7	-3.8	5.6	38.2
128	82	65	7.2	61.9	7.9	20	0.54	25.1	-4.1	5.6	37.2
129	81	65.2	7.4	62.1	8.2	20	0.54	25.4	-4.4	5.3	36.9
130	81	65.1	8.3	61.9	7.9	20	0.55	24.8	-4.4	5	36
131	81	65	8.2	62	8.2	20	0.49	25.1	-5.3	4.7	35

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
132	81	65.1	7.9	62.1	7.7	20	0.55	24.1	-4.1	3.8	34.4
133	80	65.2	8.2	62.2	7.9	20	0.48	24.4	-5	4.1	34.1
134	80	65.3	6.5	62	7.6	20	0.51	24.8	-4.7	4.7	35.4
135	79	65.1	6.9	62	7.4	20	0.52	23.8	-5	5	34.4
136	80	65.1	7.4	61.7	7.3	20	0.59	24.4	-5	4.1	34.1
137	80	64.9	7.1	61.6	7.7	20	0.53	24.4	-5.3	4.1	33.8
138	80	65.1	7.4	61.8	7.2	20	0.52	24.8	-5.3	3.1	33.2
139	80	65	6.7	61.6	7.4	20	0.5	24.8	-6	3.8	33.2
140	79	65.1	6.7	61.8	7.3	20	0.54	24.8	-5.6	3.8	33.5
141	80	64.9	6.5	61.6	8	20	0.44	24.1	-5	3.8	33.5
142	80	65.1	6.8	61.8	7.5	20	0.54	24.8	-5.6	3.1	32.8
143	79	65.1	6.9	61.8	7.6	20	0.53	24.4	-5	3.4	33.5
144	80	64.9	7	61.6	7.8	20	0.57	23.8	-6	3.4	31.9
145	80	65	6.9	61.6	7.4	20	0.58	24.1	-5.3	3.4	32.8
146	80	65.1	7.5	61.7	8	20	0.45	23.8	-6	3.4	31.9
147	80	64.9	7.1	61.7	8.3	20	0.53	24.1	-6	2.5	31.3
148	80	65	7.4	61.8	7.6	20	0.56	23.8	-5.6	3.1	31.9
149	80	65.1	6.8	62	7.3	20	0.56	24.1	-5.3	2.8	32.2
150	79	65.1	7.1	61.9	7.4	20	0.52	23.5	-6	2.5	30.7
151	79	65.1	7.1	61.8	7.7	20	0.56	24.1	-6	2.8	31.6
152	79	65.1	6.9	61.6	7.7	20	0.47	24.4	-5.6	2.5	31.9
153	79	65.1	7.7	61.7	7.5	20	0.54	24.4	-6	2.8	31.9
154	79	65.1	7	61.8	7.4	20	0.51	23.2	-6.3	3.4	31
155	78	65.1	6.7	61.6	7.8	20	0.51	23.2	-5.6	3.4	31.6
156	79	64.9	6.9	61.6	7.6	20	0.54	22.6	-6.3	2.5	29.4
157	79	65	6.9	61.6	7.7	20	0.53	23.5	-6	2.2	30.3
158	79	64.9	6.7	61.4	7.8	20	0.58	23.5	-6	2.5	30.7
159	79	65.1	7.2	61.6	7.4	20	0.54	23.8	-5.6	2.2	31
160	78	65.4	7.1	62	7.2	20	0.52	23.2	-6	1.6	29.4

---

S.	[%]	T1	RA1	T2	RA2	T0	v	W1	W2	W3	W
161	77	65.4	6.9	61.9	7.4	20	0.53	23.8	-6	2.8	31.3
162	76	65.3	6.9	61.9	7.4	20	0.57	24.1	-5.3	1.6	31
163	77	65.1	6.7	61.6	7.6	20	0.55	24.1	-6.3	1.9	30.3



## APÉNDICE

---

---

### Anexos Datos para calcular el espesor de rodaja de tomate.

---

---

TABLA 6. Add caption

Tiempo [min]	Masa [g]	Espesor [mm]
0	56	0.75
5	48	0.73
10	39	0.63
15	30	0.63
20	22	0.53
25	14	0.43
30	8	0.33
35	6	0.30
40	4	0.23
45	3	0.27