



**Desarrollo de aplicación de escritorio y móvil, PROTERTULE, en lenguaje de programación Python para el cálculo de propiedades termodinámicas de materias primas para la industria alimentaria.**

Oscar David Ruiz Paz<sup>1</sup>

Alex Torres Durango<sup>2</sup>

Proyecto de aula

Asesor

Mauricio Jose Sierra Bautista, MSc magister en ciencias alimentarias

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Agroindustrial

Carepa-Antioquia

<b>Cita</b>	(Ruiz & Torres, 2023)
<b>Referencia</b>	Ruiz Paz, O. D., & Torres Durango, A. (2023). <i>Desarrollo de aplicación de escritorio y móvil, PROTERTULE, en lenguaje de programación Python para el cálculo de propiedades termodinámicas de materias primas para la industria alimentaria</i> [Pregrado]. Universidad de Antioquia, Carepa.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Cespedes

**Decano/Director:** Julio Cesar Saldarriaga

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Con profunda gratitud, dedicamos este trabajo a nuestras madres. Su apoyo incondicional y creencia en nosotros y nuestra capacidad, han sido fundamentales en nuestro camino académico.

Agradecemos a nuestros profesores, especialmente al docente de apoyo Mauricio José Sierra Bautista por su dedicación y enseñanzas, a nuestras familias por su amor y apoyo constante, y a los amigos por su compañía y ánimo. Este logro también es para nosotros, como resultado de tanto tiempo de esfuerzo, sacrificio y determinación. Gracias a todos por formar parte de esta travesía significativa en nuestras vidas.

Con cariño

Alex Torres Durango & Oscar David Ruiz Paz

## **Agradecimientos**

A profesores, familiares y amigos,

Gracias por su incondicional apoyo en este trabajo. A mis profesores, por su dedicación y orientación. A mi familia, por su amor y respaldo constante. A mis amigos, por su compañía y aliento. A todos aquellos que contribuyeron en mi formación, mi más sincero agradecimiento.

Este logro es fruto de su apoyo y creencia en mí.

Con gratitud

Alex Torres Durango & Oscar David Ruiz Paz

## Índice

### Contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Índice	5
Lista de tablas	6
Lista de figuras	7
Siglas, Acrónimos y abreviaturas	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Objetivos	15
Marco teórico	16
Metodología	20
Resultados	22
Análisis	25
Conclusiones	26
Referencias	27
Anexos	28

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Modelos utilizados para predecir las propiedades térmicas de los alimentos	18
Tabla 2. Propiedades térmicas para el agua y hielo en función de su temperatura.	19
Tabla 3. Parámetros $\alpha$ , $\beta$ , $\delta$ , $\gamma$	19

## **Lista de figuras**

Ilustración 1. Flujograma de procesos muestra gráfica resultados de la aplicación	21
Ilustración 2. Gráfico cálculo porcentaje error aplicación versus datos experimentales	22
Ilustración 3. Muestra de la versión 2.0 de la aplicación Protertule	23
Ilustración 4. Muestra de la versión 4.0 de la aplicación Protertule	23
Ilustración 5. Proceso de desarrollo del algoritmo	24
Ilustración 6. Anexo 1	28
Ilustración 7. Anexo 2	29
Ilustración 8. Anexo 3	30
Ilustración 9. Anexo 4	31
Ilustración 10. Anexo 5	32
Ilustración 11. Anexo 6	33

## **Siglas, Acrónimos y abreviaturas**

<b>Esp.</b>	Especialista
<b>MP</b>	Magistrado Ponente
<b>MSc</b>	Magister Scientiae
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia
<b>Ecu.</b>	Ecuación



## Resumen

En este proyecto se propone la realización de un algoritmo que permita calcular propiedades termodinámicas de alimentos utilizando leyes fundamentales de la termodinámica, herramientas computacionales, y cálculos matemáticos existentes (Choi-Okos, Van der Waals), partiendo de variables conocidas que son las fracciones másicas del alimento (%carbohidratos, %proteínas, %lípidos, %H<sub>2</sub>O, %minerales, %fibra), y temperatura, que derivaran en el cálculo de las propiedades conductividad térmica, entalpía de mezcla, entalpía de vaporización, calor específico, energía interna y difusividad térmica, para las regiones de líquido subenfriado hasta mezclas con  $x \leq 0.85$ , el cual podrá observarse por medio de un software exportable a una aplicación de escritorio y móvil a partir de Windows 10 o posterior y Android 7.0 respectivamente.

*Palabras Clave:* Algoritmo; propiedades termodinámicas; cálculos matemáticos; entalpía; conductividad térmica; difusividad térmica; densidad; energía interna; leyes fundamentales de la termodinámica; fracción másica.

### **Abstract**

This project proposes the development of an algorithm to calculate thermodynamic properties of food using fundamental laws of thermodynamics, computational tools, and existing mathematical calculations (Choi-Okos, Van der Waals), starting from known variables which are the mass fractions of the food (%carbohydrates, %proteins, %lipids, %H<sub>2</sub>O, %minerals, %fiber), and temperature, proteins, %lipids, %H<sub>2</sub>O, %minerals, %fiber), and temperature, which will derive in the calculation of the properties thermal conductivity, enthalpy, specific heat, internal energy and thermal diffusivity, for the regions of subcooled liquid up to mixtures  $\geq 0.85$ , which can be observed by means of a software exportable to a desktop and mobile application from android 7.0 and IOS 9.0.

*Keywords:* Algorithm; thermodynamic properties; mathematical calculations; enthalpy; thermal conductivity; thermal diffusivity; density; internal energy; fundamental laws of thermodynamics; mass fraction.

## Introducción

Una vez estudiado el comportamiento de las sustancias puras en las transiciones de fase, puede efectuarse el cálculo completo de las propiedades de las sustancias, que como se sabe, resultan necesarias a la hora de aplicar los principios de la termodinámica a los sistemas en estudio. Así, pueden obtenerse expresiones analíticas que reflejen el comportamiento observado. También pueden construirse tablas de propiedades con un espaciado conveniente entre puntos, muy útiles en los cálculos técnicos. Además, puede reflejarse de forma completa el comportamiento  $p - v - T$  de las sustancias en diagramas tridimensionales en coordenadas rectangulares, donde cada estado de equilibrio corresponde a un punto de la superficie  $p - v - T$ . En las proyecciones de estos diagramas, es decir, en los diagramas planos correspondientes, pueden representarse también las diversas isothermas, isoentálpicas, isocoras en las distintas regiones, de forma que las propiedades térmicas y energéticas pueden leerse conjuntamente (2017, *José María García Pérez*).

Por lo tanto, en esta propuesta pretendemos calcular las propiedades termodinámicas de alimentos que se ajusten a las necesidades y solución de problemática que hay en el sector alimentario como la ausencia de herramientas computacionales que permitan el cálculo de las propiedades termodinámicas en los alimentos, encontramos investigaciones que se asemejan a lo que pretendemos realizar en este proyecto, tales como:

### Evaluación de propiedades.

El éxito de la modelación de un proceso depende totalmente de la correcta descripción de las propiedades físicas y termodinámicas y del equilibrio de las fases que componen el sistema objeto de estudio. Muchos trabajos han sido escritos discutiendo la importancia de la predicción de propiedades en la simulación de procesos. Según *Coon* y colaboradores, una buena introducción en este campo son los trabajos publicados por *Mathias* y *Klotz* y *Carlson*. En ellos se discute acerca de cómo varios modelos son más o menos apropiados para la evaluación de las propiedades físicas. También se sugiere que para seleccionar el método apropiado de evaluación de propiedades se deben tener en cuenta los siguientes factores: la naturaleza de las propiedades de interés, la composición de la mezcla, los intervalos de presión y temperatura y la

disponibilidad de parámetros. La mezcla multicomponente obtenida realmente en la fermentación (vino) se consideró como una mezcla binaria etanol-agua. Esto es posible dado que el contenido de impurezas en el alcohol bruto es del orden de  $10^{-3}$ , expresado en fracción másica y todas reunidas representan entre 0,5% y 1% del contenido de alcohol. Estas sustancias, llamadas congéneres, están usualmente presentes en un vino a concentraciones entre  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  mg/L. (2010, *Osney Pérez Ones, Jorge Díaz Rodríguez, Lourdes Zumalacárregui, Osvaldo Gozá León*).

Diseño de los algoritmos para los modelos matemáticos de sistemas de composición local.

Se realizó una revisión bibliográfica entre 1984 y 2014 en inglés y español, referente al procedimiento de cálculo de la constante de equilibrio por el método  $\phi_i$ - $\gamma_i$  y las expresiones algebraicas para el cálculo del coeficiente de actividad asociado a los modelos NTRL, UNIFAC y UNIQUAC, de manera que se elaboren los algoritmos en cada caso (Walas 1990, Kilkovsky et al. 2014). En el diseño se utilizaron algoritmos estructurados de manera modular, los cuales permitieron diseñar cada uno por separado en función del modelo termodinámico a emplear. Otra de las particularidades de la utilización de este tipo de algoritmo radica en la posibilidad que existan algunos dependientes entre sí, y otros que requieran operaciones matemáticas especiales que pueden establecerse como algoritmos individuales. Esto permite que, al momento de diseñarlos, su estructura sea más simple y fácil de transcribir al lenguaje de programación respectivo, y puedan ser llamados por cualquier módulo principal sin tener que volver a ser reescritos.

Desarrollo de los modelos matemáticos para los cálculos iterativos de los modelos de composición local.

En esta fase se procede a seleccionar métodos aproximados de solución de ecuaciones no lineales que permitan resolver numéricamente los problemas de cálculo implícitos en cualquier algoritmo diseñado (punto de burbuja, punto de rocío o flash), de manera que el sistema informático empleado sea capaz de solucionar oportunamente cualquier operación matemática compleja que implique cálculos de ensayo y error. Por lo tanto, fue requerido seleccionar los métodos matemáticos de solución de ecuaciones no lineales más empleados, entre los cuales se pueden

mencionar: Newton-Raphson, Gauss-Newton, Runge-Kutta, entre otros. (Duran M., Ruiz R., 2020)

#### Determinación de propiedades termodinámicas.

Los cambios en la adsorción de agua tienen efecto sobre la energía libre de Gibbs. El cálculo de  $dG$  está definido por la ecuación de Gibbs. El calor isostérico neto de adsorción o entalpía diferencial  $dH_{diff}$  en J mol<sup>-1</sup>, se define como la diferencia entre el calor isostérico total de sorción de agua  $H_v(T)$  y el calor de vaporización del agua pura  $H_v^0(T)$ . Los cambios de entalpía diferencial en la interfase agua-sólido, en diferentes etapas del proceso de adsorción en alimentos y productos agrícolas, pueden calcularse a partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron (Telis-Romero et al., 2005)

Donde  $\frac{[\Delta H_{diff}]_T}{R} - \left[ \frac{d \ln(a_w)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} \right]$  Es una cantidad molar que depende de la temperatura de la isoterma y representa la cantidad de energía sobre el calor de vaporización del agua requerida para que las moléculas de agua se unan mediante un proceso de sorción a un nivel de humedad específico. Para aplicar el método isostérico se supone que el calor de vaporización del agua pura y el calor de sorción no varían con la temperatura, por lo que se recomienda medir las isotermas a más de dos temperaturas (McMin et al., 2004; Telis-Romero et al., 2005; Lee y Lee, 2002). Con los valores obtenidos para los cambios de entalpía, se puede estimar la variación de la entropía diferencial molar mediante la ecuación,  $[\Delta S_{diff}]_T = S_t - S_L = \frac{-[\Delta H_{diff}]_T - RT \ln a_w}{T}$  (Gabas et al., 2000; Fasina, 2006):008).

#### Método de cálculo

Para obtener el modelo matemático que permita determinar la composición y las propiedades termodinámicas de los productos se supone que el aire está compuesto por O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y Ar, y el combustible de fórmula C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>O<sub>i</sub>, por C, H y O (sistema CHONA), y se considera que los productos de la combustión están conformados por doce especies químicas: H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, OH, H, N<sub>2</sub>, NO, N, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, O y Ar (Turns, 2000). Con base en la ecuación de combustión, en la cual

los reactantes son la mezcla aire-combustible y los productos las doce especies químicas atrás enumeradas, se pueden cuantificar las concentraciones de los constituyentes de los productos, lo cual a su vez permite determinar sus propiedades termodinámicas: temperatura, presión, energía interna y entalpía. (Figueroa S., Serrano J., Molina J., 2012).

Este proyecto se realiza como un complemento a la existencia de herramientas y ecuaciones que permiten el cálculo y la predicción de propiedades termodinámicas en alimentos, sabemos que existen diferentes softwares que facilitan la evaluación de propiedades termodinámicas en sustancias puras, sin embargo, el cálculo de estas propiedades en alimentos, no ha sido estandarizado por lo cual hemos decidido desarrollar una aplicación basada en algoritmos que permitan calcular aproximaciones de las propiedades termodinámicas de estos componentes en sustancias no puras, Específicamente orientada hacia Alimentos.

Referente a los beneficios que podemos encontrar a través de este proyecto son:

Beneficios económicos. permite el desarrollo de procesos de conservación de alimentos más eficientes, lo que reduce los costos de producción y aumenta la vida útil de los alimentos, permite la formulación de productos alimentarios de alta calidad y seguridad, lo que puede aumentar la demanda y los precios de los mismos, ayuda a identificar las condiciones óptimas de procesamiento, lo que puede mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de recursos; Beneficios sociales. permite la elaboración de alimentos más seguros y saludables, lo que puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, facilita el desarrollo de alimentos para personas con necesidades especiales, como alimentos para bebés, alimentos para personas con alergias o intolerancias alimentarias, entre otros.

Beneficios académicos. favorece el avance de la investigación científica en el campo de la tecnología de alimentos, contribuye al desarrollo de nuevas tecnologías y productos alimentarios.

Beneficios políticos. fomenta el desarrollo de la industria alimentaria, lo que puede contribuir al crecimiento económico de un país, puede ayudar a mejorar la seguridad alimentaria y la salud pública, lo que puede ser una prioridad para los gobiernos.

Trabajar con el cálculo de propiedades termodinámicas para alimentos con base en variables como temperatura, densidad y presión es esencial para el desarrollo de tecnologías y productos alimentarios de alta calidad y seguridad. Esto puede tener beneficios económicos, sociales, académicos y políticos significativos para las empresas, los consumidores y la sociedad en general.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar una aplicación que permite calcular propiedades termodinámicas específicamente variables como: Conductividad, Calor Específico, Densidad, Difusividad, Entalpía y Entropía en Alimentos.

### **Objetivos específicos**

Se describen algunos ejemplos de verbos comunes que se utilizan en el planteamiento de objetivos, los cuales cambiarán dependiendo de su trabajo.

- Determinar los modelos matemáticos para la determinación de propiedades termodinámicas.
- Determinar el algoritmo que permita calcular los valores de las variables  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $\rho$ ,  $C_n$
- Diseñar una interfaz, fácil de utilizar, intuitiva y sencilla que permita ejecutar el algoritmo en el entorno gráfico de Python
- Probar la rapidez de cálculo del programa y la eficiencia en los resultados.



### Marco teórico

Los modelos ya establecidos para predecir propiedades termodinámicas en alimentos, que usaremos son:

Entalpía: En el análisis de cierto tipo de procesos, particularmente en la generación de potencia y en refrigeración, a menudo se encuentra la combinación de propiedades  $u + Pv$ . Para simplificar y por conveniencia, esta combinación se define como una nueva propiedad, entalpía, la cual se representa  $h$ . La combinación  $u + Pv$  suele encontrarse en el análisis de volúmenes de control. binación se define como una nueva propiedad, entalpía, la cual se representa mediante el símbolo  $h$ .

$$\text{Entalpía: } h = u + Pv \left( \frac{kJ}{kg} \right) \text{ o } H = U + PV(kJ).$$

Densidad: es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido;

$$\text{Densidad: } \rho = \frac{m}{v} \text{ (kg / m}^3\text{) Ecu. 1}$$

Energía interna: es la suma de todas las formas microscópicas de energía en un sistema y se denota mediante  $U$ .

$$\text{Energía interna: } U = H - (V * dP) \left( \frac{kJ}{Mol} \right) \text{ Ecu.2}$$

Calor específico: se define como la cantidad de energía necesaria para incrementar en un grado la temperatura de una masa unitaria de cierta sustancia.

$$\text{Calor específico: } C_p = \sum C_{p_i} X_i^w \text{ Ecu.3}$$

Presión: se define como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área.

Se habla de presión sólo cuando se trata de gas o líquido, mientras que la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Puesto que la presión se define como la fuerza por unidad de área, tiene como unidad los newtons por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ), también conocida como pascal (Pa). Es decir,  $1\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ . La unidad de presión pascal es demasiado pequeña para las presiones que se suscitan en la práctica. De ahí que sus múltiplos kilopascal ( $1 \text{ kPa } 10^3 \text{ Pa}$ ).

Temperatura: Aun cuando estamos familiarizados con la temperatura como una medida del “calor” y el “frío”, no es fácil ofrecer una definición exacta de este concepto. Con base en nuestras sensaciones fisiológicas, se expresa el nivel de temperatura de modo cualitativo con palabras como frío helador, frío, tibio, caliente y al rojo vivo; sin embargo, no es posible asignar valores numéricos a temperaturas basándose únicamente en las sensaciones. Además, en ocasiones los sentidos engañan. Una silla metálica, por ejemplo, se sentirá mucho más fría que una silla de madera aun cuando ambas estén a la misma temperatura. Por fortuna, varias propiedades de los materiales cambian con la temperatura de una manera repetible y predecible, y esto establece una base para la medición precisa de la temperatura. Por ejemplo, el termómetro de mercurio utilizado comúnmente se rige por la expansión del mercurio con la temperatura. Ésta se mide también por medio de otras propiedades dependientes de ella.

Conductividad térmica: La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases; en estos últimos dos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres. Por ejemplo, una bebida enlatada fría que se halla en una habitación caliente, alcanza por conducción la temperatura de la habitación como resultado de la transferencia de calor de ésta a la bebida, a través de la lata de aluminio.

$$\text{Conductividad Térmica: } k = \sum_{i:1}^n k_i x_i^v \text{ Ecu. 4}$$

Difusividad Térmica: La difusividad térmica, es el valor obtenido al dividir la conductividad térmica de un cierto material dividida entre el producto del valor de su densidad y la capacidad calorífica específica del mismo.

$$\text{Difusividad Térmica: } \alpha = \sum_i \alpha_i X_i^v \text{ Ecu. 5}$$

Ecuación de estado de Van der Waals

La ecuación de estado de Van der Waals se propuso en 1873, tiene dos constantes que se determinan del comportamiento de una sustancia en el punto crítico, y está dada por

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) * (v - b) = RT \text{ Ecu. 6}$$

Van der Waals intentó mejorar la ecuación de estado de gas ideal al incluir dos de los efectos no considerados en el modelo de gas ideal: las fuerzas de atracción intermoleculares y el volumen que ocupan las moléculas por sí mismas. El término  $a/v^2$  toma en cuenta las fuerzas intermoleculares y  $b$  el volumen que ocupan las moléculas de gas. En una habitación a presión y temperatura atmosféricas, el volumen que en realidad ocupan las moléculas es alrededor de la milésima parte del volumen de la habitación. A medida que aumenta la presión, el volumen ocupado por las moléculas se vuelve una parte cada vez más importante del volumen total (Çengel et al., 2009).

*Tabla 1. Modelos utilizados para predecir las propiedades térmicas de los alimentos*

<b>Conductividad térmica</b>	$k = \sum_{i:1}^n k_i x_i^v$
<b>Densidad</b>	$\rho = \frac{m}{v}$
<b>Difusividad térmica</b>	$\alpha = \sum_i \alpha_i X_i^v$
<b>Calor específico</b>	$C_p = \sum_{p_i} C_{p_i} X_i^w$

<b>Fracción de agua descongelada</b>	$\frac{\lambda}{R} \left  \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right  = \ln \ln \left  \frac{\frac{X_w^w}{M_w}}{\frac{X_w^w}{M_w} + \sum \frac{X_i^w}{M_i}} \right $
<b>Cuando</b>	$X_i^v = (\frac{X_i^w}{\rho_i}) / (\sum \frac{X_i^w}{\rho_i})$
	$K_i = a_1 + a_2 T + a_3 T^2$
	$\alpha_i = b_1 + b_2 T + b_3 T^2$
	$C_{p_i} = d_1 + d_2 T + d_3 T^2$
	$\rho_i = C_1 + C_2 T$
<b>i</b>	Componente (fibra, grasa, proteína, etc.)
$X_i^v$	Fracción de masa
$X_i^w$	Fracción de volumen estimada
$\rho_i$	Densidad del componente puro

Tabla 2. Propiedades térmicas para el agua y hielo en función de su temperatura.

	<b>Función de temperatura</b>	<b>Error estándar</b>	<b>% Error estándar</b>
<b>Agua</b>	$K_w = 5.7109 * 10^{-1} + 1.7625 * 10^{-3} T - 6.7036 * 10^{-6} T^2$	0.0028	0.45
	$\alpha_w = 1.3168 * 10^{-1} + 6.2477 * 10^{-4} T - 2.4022 * 10^{-6} T^2$	0.0022*10 <sup>-6</sup>	1.44
	$\rho_w = 9.9718 * 10^2 + 3.1439 * 10^{-3} T - 3.7574 * 10^{-3} T^2$	2.1044	0.22
	$C_{pw1} = 4.0817 - 5.3062 * 10^{-3} T + 9.9516 * 10^{-4} T^2$	0.0988	2.15
	$C_{pw2} = 4.1762 - 9.0864 * 10^{-5} T + 5.4731 * 10^{-6} T^2$	0.0159	0.38
<b>Hielo</b>	$K_i = 2.2196 - 6.2489 * 10^{-3} T + 1.0154 * 10^{-4} T^2$	0.0079	0.79
	$\alpha_i = 1.1756 - 6.0833 * 10^{-3} T + 9.5037 * 10^{-5} T^2$	0.0044*10 <sup>-6</sup>	0.33
	$\rho_i = 9.1689 * 10^2 - 1.3071 * 10^{-1} T$	0.5382	0.06
	$C_{pi} = 2.0623 + 6.0769 * 10^{-3} T$	0.0014	0.07
<b>C<sub>pw1</sub></b>	Para el rango de temperatura	-40 °C	0 °C

$C_{pw2}$	Para el rango de temperatura	0 °C	150 °C
-----------	------------------------------	------	--------

Ecuación de elevación de punto de ebullición.  $EPE\text{ }^{\circ}C = \alpha C^{\beta} * P^{\delta} * e^{\gamma^c}$  Ecu. 7

Tabla 3. Parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$

Muestra	$\alpha * 10^2$	$\beta$	$\delta$	$\gamma * 10^2$
Sacarosa	3.061	0.094	0.136	5.328
Azúcares reductores	2.227	0.588	0.119	3.593
Jugo de frutas	1.360	0.749	0.106	3.390
Extracto de café	0.8474	0.9895	0.1163	2.570
Jugo de manzana	1.3602	0.7489	0.1054	3.390
Soluciones de azúcar	3.0612	0.0942	0.1356	5.329

### Metodología

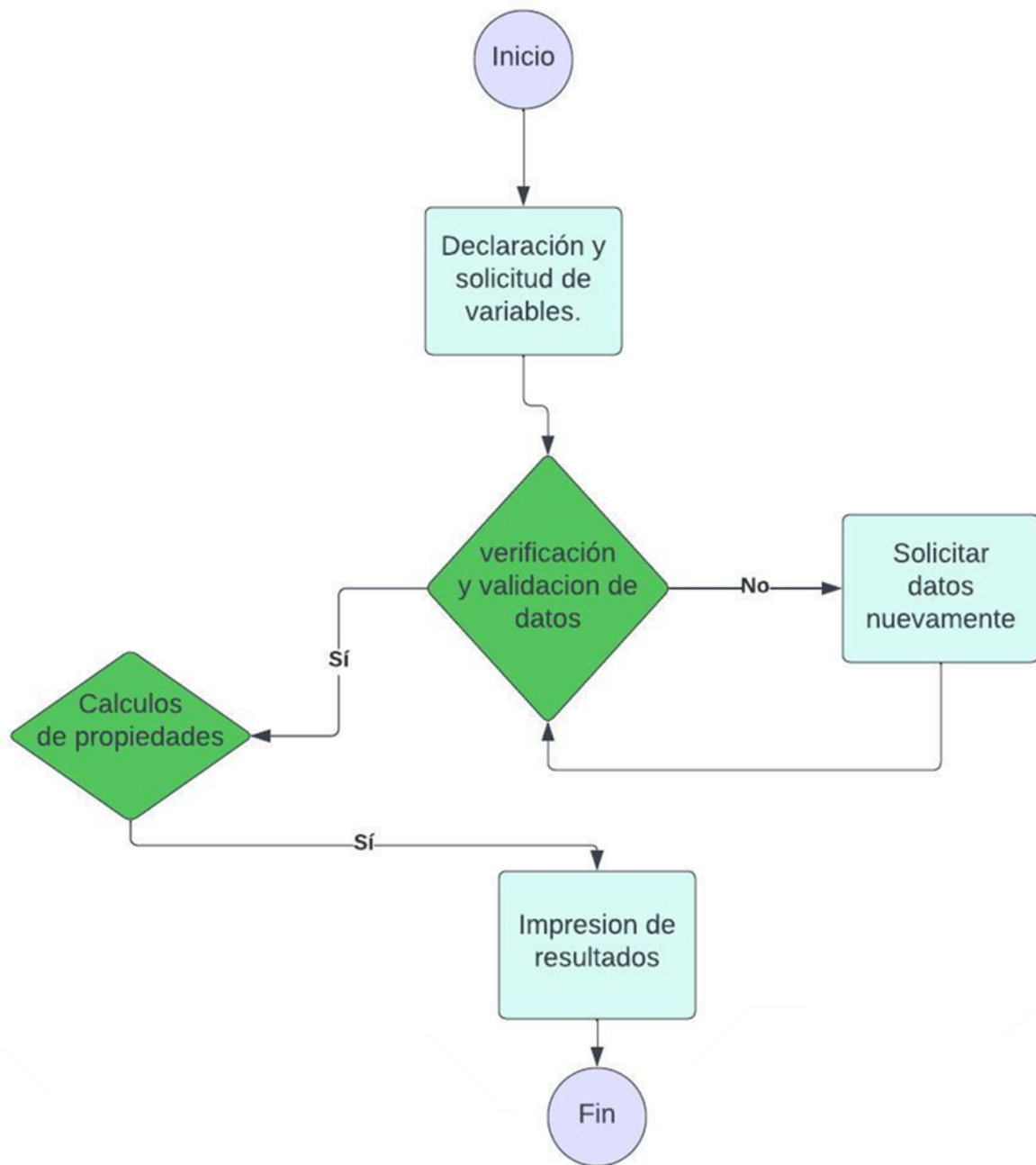
Esta propuesta se desarrolla en la Universidad de Antioquia, seccional Urabá, sede Tulenapa.

Para llevar a cabo el desarrollo eficiente del proyecto, nos apoyaremos en las leyes fundamentales de la termodinámica, para establecer propiedades termodinámicas, haciendo uso de las ecuaciones de Choy y Okos, ecuación de estado de Van der Waals.

Se implementará el uso de diagramas de flujo, lenguajes de programación, diseño de interfaz que permitan modelar el problema, y tomaremos como ejemplos softwares ya existentes que tienen mucha similitud con lo que queremos desarrollar, como Propagua y Progases que son dos programas informáticos desarrollados por José Agüera Soriano (Departamento de Química Física y Termodinámica Aplicada de la Universidad de Córdoba, Área de Máquinas y Motores Térmicos), para Windows, Engi H2O que es un programa en Windows que calcula las propiedades termodinámicas del agua, REFPROP es Software para calcular las propiedades

termodinámicas de refrigerantes y sus mezclas, CyclePad es Programa en Windows para la simulación de ciclos y procesos termodinámicos, todos estos tienen en común el cálculo de propiedades termodinámicas en sustancias puras.

Desarrollamos la construcción del flujograma que nos facilitó crear una ruta para la elaboración del algoritmo, codificación del programa, prueba de escritorio, corrección de errores, evaluar los parámetros de cálculo (error%, desviación, convergencia), corrección de parámetros de cálculo, evaluación externa, establecimiento de parámetros de cálculo para las variables que deseamos calcular.



*Ilustración 1. Flujograma de procesos muestra gráfica resultados de la aplicación*

## Resultados

Al aplicar los métodos y modelaciones matemáticas propuestos, esta herramienta permitieron determinar las propiedades termodinámicas en alimentos que estén en fase líquido subenfriado hasta líquido saturados, los cálculos realizados por la aplicación arrojaron un porcentaje de error inferior al 0.3 en relación a valores teóricos existentes para la región líquido subenfriado hasta líquido saturado, en la región mezcla se logró realizar el cálculo para variables específicas con resultados interesantes de estudiar de forma analizar en el laboratorio, la versión 3.0 de la aplicación que esta propuesta tendrá participación nacional e internacional en eventos de ingeniería y divulgación científica.

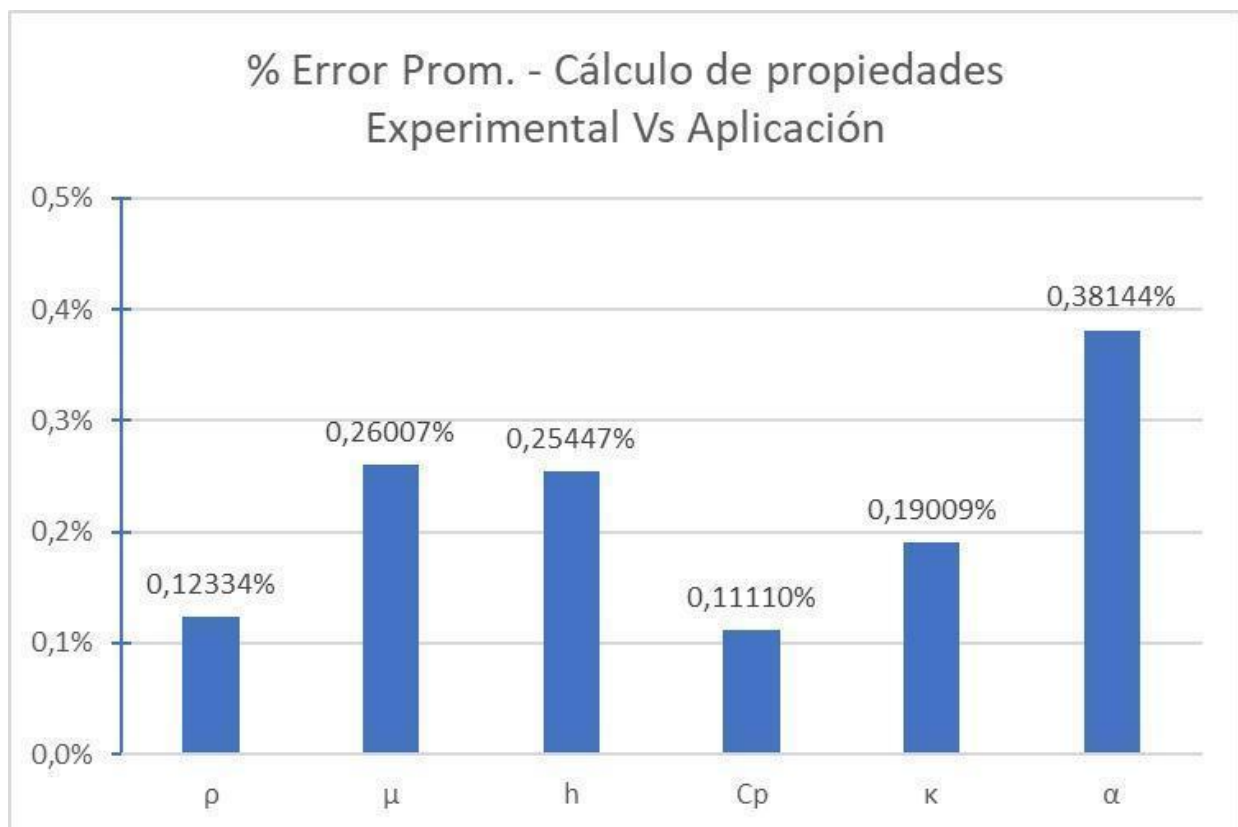


Ilustración 2. Gráfico cálculo porcentaje error aplicación versus datos experimentales



ProTerTule V2.0

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
Facultad de Ingeniería

Minerales %  
Proteína %  
Fibra %  
Carbohidratos %  
Agua H<sub>2</sub>O %  
Grasa %  
Tempratura °C

0.1  
0.2  
0  
0.2  
0.4  
0.1  
82

1.0

Es la suma de las fracciones másicas

Calcular

Nuevo

"ProTerTule fue desarrollado por  
Alex Torres D. Y Oscar Ruiz P.  
estudiantes de Ing. Agroindustrial  
Universidad de Antioquia, seccional Urabá"

Densidad ( $\rho$ ) = 1179.609  
Energía interna ( $u$ ) = 226.246  
Calor Específico ( $C_p$ ) = 2.7591  
Entalpía ( $h$ ) = 226.246  
Conductividad Térmica ( $K$ ) = 0.00043040194733  
Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) = 1.322e-7

Kg/m<sup>3</sup>  
kJ/Mol  
kJ/Kg+°C  
kJ/Mol  
kJ/s\*m+°C  
m<sup>2</sup>/s

ESP  
LAA

7:23 p.m.  
12/05/2023

Ilustración 3. Muestra de la versión 2.0 de la aplicación Protertule

Ilustración 4. Muestra de la versión 4.0 de la aplicación Protertule

Ilustración 5. Proceso de desarrollo del algoritmo

### **Análisis**

Los resultados obtenidos hasta el momento han sido positivos, ya que estos dentro de la industria alimentaria son útiles y se pueden implementar de forma sencilla en los procesos que se lleva a cabo en las empresas.

### **Conclusiones**

Obtuvimos resultados experimentales y estadísticos con un error inferior al 0.5% lo cual es aceptable dentro de los rangos permitidos en la industria alimentaria, nuestra aplicación se ejecuta en equipos con Windows 10 o posterior sin necesidad de instalar softwares adicionales. Será muy útil en la industria alimentaria para optimizar el tiempo de operación y analizar procesos como pasteurización, secado y destilación de manera eficiente.

## Referencias

- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & González y Pozo, V. (2009). *Termodinámica* (7ª ed). McGraw-Hill.
- Choi, Y. y M.R. Okos; *Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods-Review* . In *Physical and Chemical properties of food*. Ed. M. Okos. American Society of Agricultural Engineering, p 93-101(1985)
- Readthedocs.io. Retrieved (March 25, 2023) *Cálculo de las propiedades termodinámicas de una sustancia* — Termodinámica 0.1.0 documentation. (n.d.)
- Universidad del Bío-Bío. *Simulador de propiedades termodinámicas en la conversión de la biomasa forestal de aserrín de pino, Maderas*. Ciencia y tecnología, vol. 22, núm. 3, pp. 347-364, (2020).
- FYGUEROA SALGADO, Simón Jesús, SERRAN RICO, Juan Carlos and MOLINA MOJICA, José Rodolfo. *Método para determinar las propiedades termodinámicas de mezclas combustibles considerando doce especies químicas en los productos*. Ing. Univ. (2012), vol.16, n.1 [cited 2023-03-25], pp.59-75
- Pérez Ones, Osney ; Díaz Rodríguez, Jorge ; Zumalacárregui, Lourdes ; Gozá León, Osvaldo *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (Mar 2010), N° 52 Páginas 47 - 61.
- CEBALLOS PEÑALOZA, GIRALDO GOMEZ, Gloria Inés y ORREGO ALZATE, Carlos Eduardo TELIS ROMERO, Javier. *Sorption and Adela M. Thermodynamics of Soursop Powders Obtained by Different Dehydration Technologies*. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín (2013), vol.66, n.2 [cited 2023-03-26], pp.7107-7116.

### Anexos

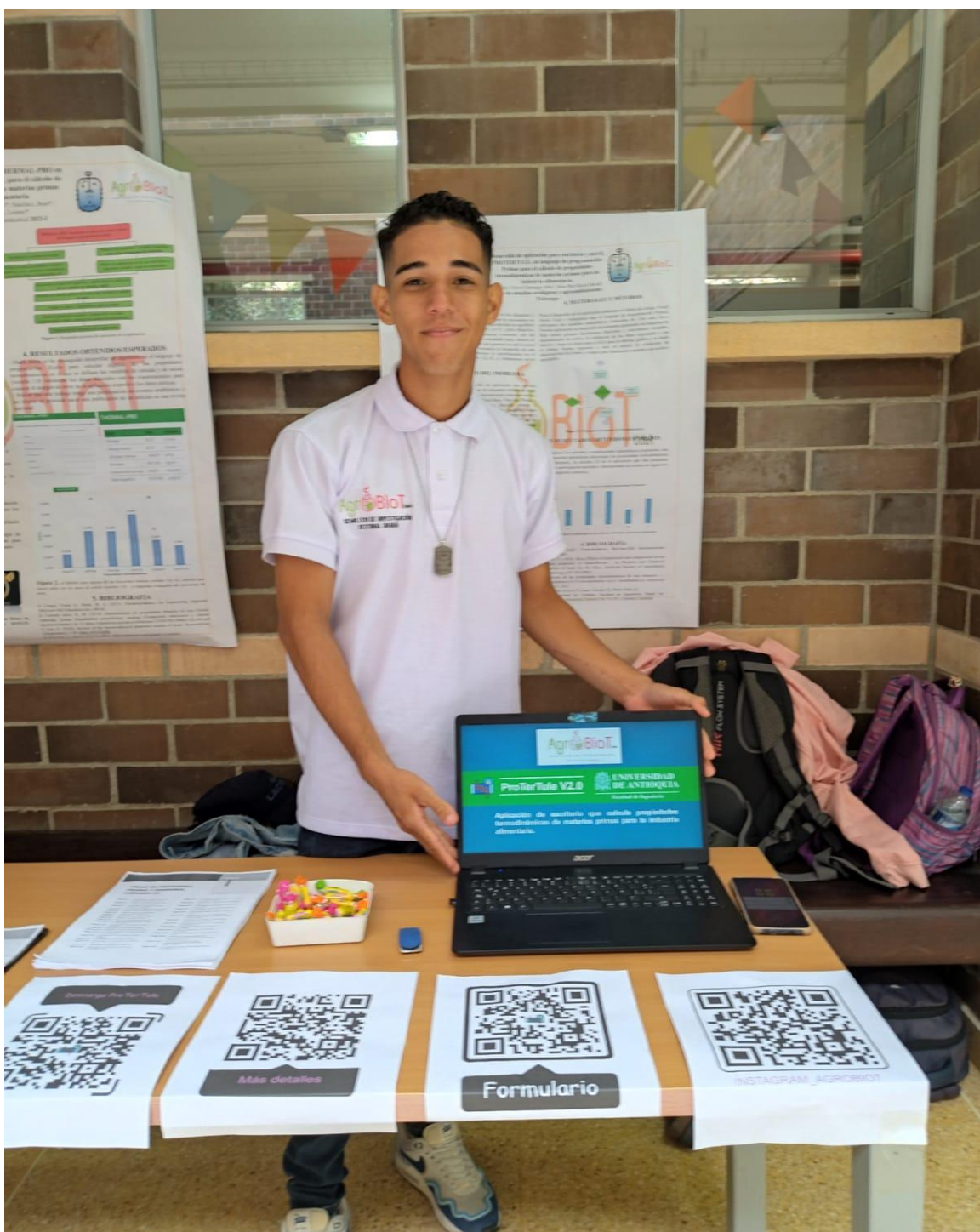
Repositorio público de Github: [https://github.com/AlexDavidTD/Proyecto\\_ProTerTule](https://github.com/AlexDavidTD/Proyecto_ProTerTule)

Tutorial: <https://youtu.be/qLwACxjtmNA>



*Ilustración 6. Anexo 1*





*Ilustración 7. Anexo 2*



*Ilustración 8. Anexo 3*





*Ilustración 9. Anexo 4*





Ilustración 10. Anexo 5





Ilustración 11. Anexo 6