

MANUAL AZUCARERO 2017. INGENIERÍA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA. MANUAL AZUCARERO 2017. ENGINEERING FOR THE SUGAR INDUSTRY.

Silvio Peluffo (TecnoAzúcar-Argentina), Miguel Pagliara Valz (ATS-Guatemala)

silviopeluffo@arnet.com.ar, atsguate@itelgua.com

Resumen

Manual Azucarero 2017, es un poderoso software generador de Diagramas de Flujo, para la Industria Azucarera, con sus respectivos balances de masa y energía, en estado estacionario, donde cada equipo utilizado es rigurosamente calculado, obteniéndose los parámetros necesarios para el diseño o verificación de éstos. El cálculo necesita de las propiedades físicas y termodinámicas de los componentes, o combinación de ellos, en cada flujo, para lo cual hace uso, automáticamente, de las ecuaciones fundamentales desarrolladas al presente y que son parte también de los *Programas Auxiliares*.

Abstract

Manual Azucarero 2017 is powerful software for the calculation of mass and energy balances and the generation of process flow diagrams for the cane sugar industry, allowing the necessary parameters for design or verification to be obtained. Like all mass and energy balance software, it needs the physical and thermodynamic properties of the components of each flow or combination of flows. This software is complemented with *Auxiliary Programs* dealing with physical and thermodynamic properties of fluids, water, steam, air and sugar solutions, along with fluid flow and equivalence of units.

Palabras Clave: Azúcar de Caña, Industria Azucarera, Software para Azúcar, Balance de Masa y Energía, Análisis de Procesos

Keywords : Cane Sugar, Sugar Industry, Sugar Software, Mass and Energy Balance, Process Analysis

Introducción

Manual Azucarero 2017, provee un conjunto de herramientas de uso frecuente en la industria azucarera, facilitando los cálculos, a veces tediosos, complicados y prolongados en tiempo, ya sea en una etapa de diseño, o en la verificación de equipos existentes, generando resultados precisos rápidamente. Este software permite armar un diagrama de flujo, a partir de *Unidades de Operación*, cuyo modelo matemático simula y calcula, rigurosamente, cada equipo característico de la industria azucarera, como evaporadores, centrifugas, molinos de caña, tachos de vacío, turbinas y generadores de vapor, etc. Las unidades de operación, seleccionadas previamente, se vinculan entre sí con *Líneas de Flujo*, por las que deberían

circular, hipotéticamente los fluidos reales, representando una parte o la totalidad del proceso productivo.

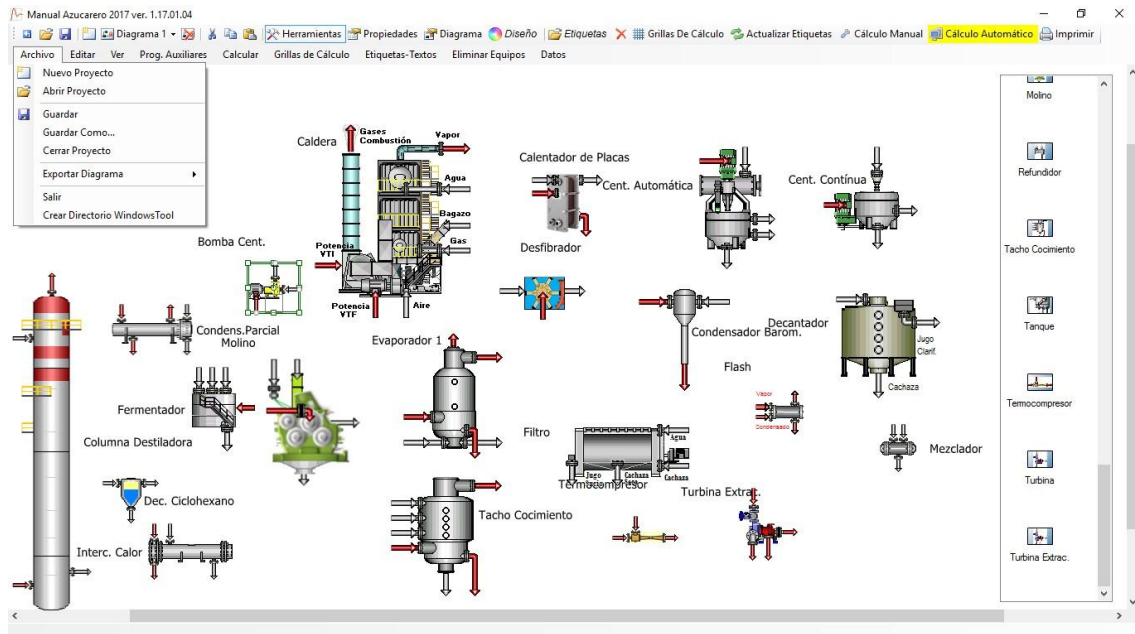


Fig. 1 Algunos de los Equipos disponibles en Manual Azucarero 2017.

El Programa.

Iniciamos desde el menú, **Fig. 1**, un *Nuevo Proyecto*, para desarrollar un diagrama de flujo, o desde *Abrir Proyecto*, para analizar o modificar uno previamente guardado. Todos los equipos disponibles se pueden seleccionar desde la **Barra de Herramientas**. El programa trabaja en dos planos, el diagrama de flujo propiamente dicho y las **Grillas de Cálculo**, donde se muestra toda la información de cada equipo y se realiza el cálculo automáticamente. Ambos, pueden ser guardados o impresos. *Manual Azucarero 2017*, se completa con los **Programas Auxiliares**, los cuales permiten resolver otras tareas como conversión de unidades, propiedades físicas y termodinámicas del agua, vapor de agua, soluciones de azúcar, aire, etanol, ciclohexano, etc., flujo de fluidos y otros.

Estos se encuentran dinámicamente vinculados a las grillas de cálculo de cada equipo, lo que permite modificar inmediatamente los resultados en función de los cambios de las variables como presión, temperatura, brix, flujos, etc. En la **Fig. 1.**, se muestran algunos de los equipos disponibles, destacándose las entradas y salida de producto como flechas.

En un sencillo primer ejemplo, **Fig. 2**, se ha desarrollado un proyecto para calcular el calentamiento de Jugo Mixto, en dos calentadores, uno de placas y otro vertical, con una bomba centrífuga, que impulsa el fluido, y utilizando vapor vegetal VGI, extraído supuestamente del primer efecto de los evaporadores. Los equipos son arrastrados desde la barra de herramientas, y posicionados en un lugar conveniente. Se los vincula con las líneas de flujo que se generan muy fácilmente, entre la salida y la entrada de cada equipo, y éstas se colorean y/o se define su espesor y nombre, para una visualización clara. Estas líneas de flujo, que teóricamente transportan, en este caso, jugo mixto del trapiche, en realidad transportan la información total de ese fluido entre cada equipo y entre cada grilla de cálculo. Estas se visualizan cliqueando en menú **Grillas de Cálculo**, desplegándose todas, una por cada equipo, solapadas, siendo visible la que corresponde al equipo que se señale específicamente. Cada grilla trabaja como una planilla

de cálculo, resolviéndose automáticamente y enviando los resultados a las grillas vinculadas por el diagrama, las cuales a su vez, se ejecutan dinámicamente, lo que permite resolver iterativamente el proyecto. Los datos que deben ser introducidos manualmente se identifican por las celdas coloreadas de amarillo.

Si los datos no se introducen o están fuera de rango, aparece un error, hasta que se corrige. Los datos para el jugo mixto serán Brix%, Pol%, Sólidos%, Flujo, Presión y Temperatura, mientras que para el vapor solamente se necesita la presión, ya que al ser saturado, la temperatura se calcula automáticamente. Se completa la información con los datos generales del equipo como cantidad de tubos, etapas, diámetro, longitud, material, etc.

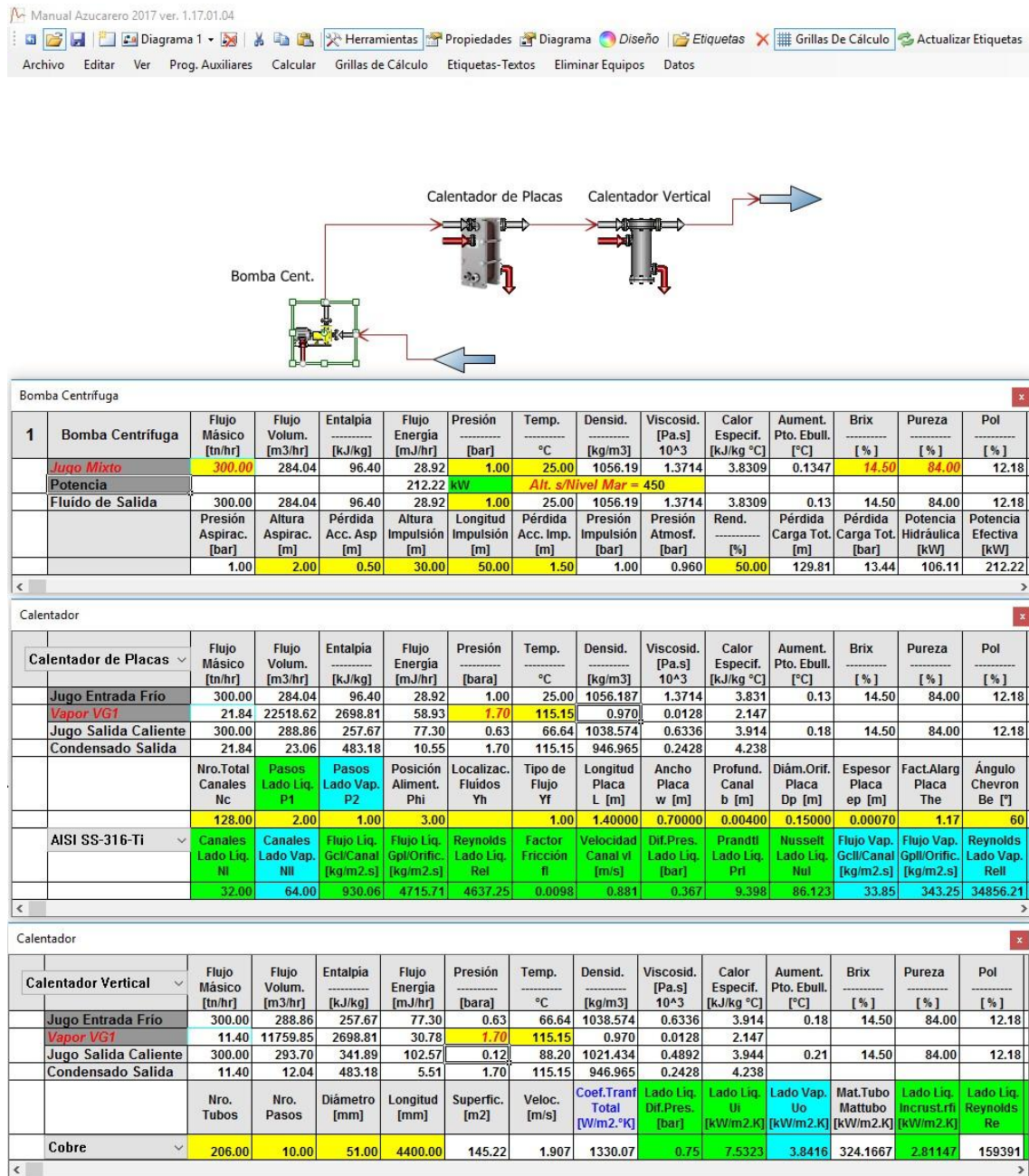


Fig. 2 Calentamiento de Jugo Mixto

El cálculo puede ser realizado individualmente, para una primera aproximación y luego **Cálculo Automático** hasta convergencia de los resultados. En la **Fig. 2**, se muestran las grillas de los equipos, solo parcialmente (datos y resultados). El jugo impulsado por la bomba, a 25 °C pasa por el calentador de placas y sale a 66.64 °C, salto importante que permite este tipo de calentadores, cuyo coeficiente de transferencia de calor (no se puede ver por la figura reducida), es 1791.09 W/m² °K, bastante por encima del obtenido con un calentador vertical de tubos, a igual superficie (1202.70 W/m² °K), y menor pérdida de carga (0.367 bar contra 0.78 bar). Con esta temperatura el jugo ingresa al segundo calentador, cuyos resultados aparecen en la grilla mostrada parcialmente. La temperatura de salida es de 88.20 °C, con un consumo de vapor vegetal VGI (1.7 bara y 115.15 °C) de 21.84 th/hr en el primero, y 11.40 th/hr en el segundo.

El ejemplo, **Fig. 3**, permite analizar el comportamiento de una Caldera de Bagazo, con Ventilador de Tiro Inducido (VTI) y Forzado (VTF), accionados por turbinas de vapor. El cálculo se efectúa a partir de la información del análisis, con la composición elemental de un bagazo típico, para calcular el poder calorífico, el flujo y composición de los gases de combustión, y con los respectivos balances de masa y energía, obtener la pérdida de calor por estos gases, que sumadas a las que se registran por radiación, fugas, purgas, incombustión y CO, nos dará el rendimiento del equipo. Según el tipo de ventiladores usados y su presión de trabajo, se calcula la potencia necesaria de accionamiento de los mismos.

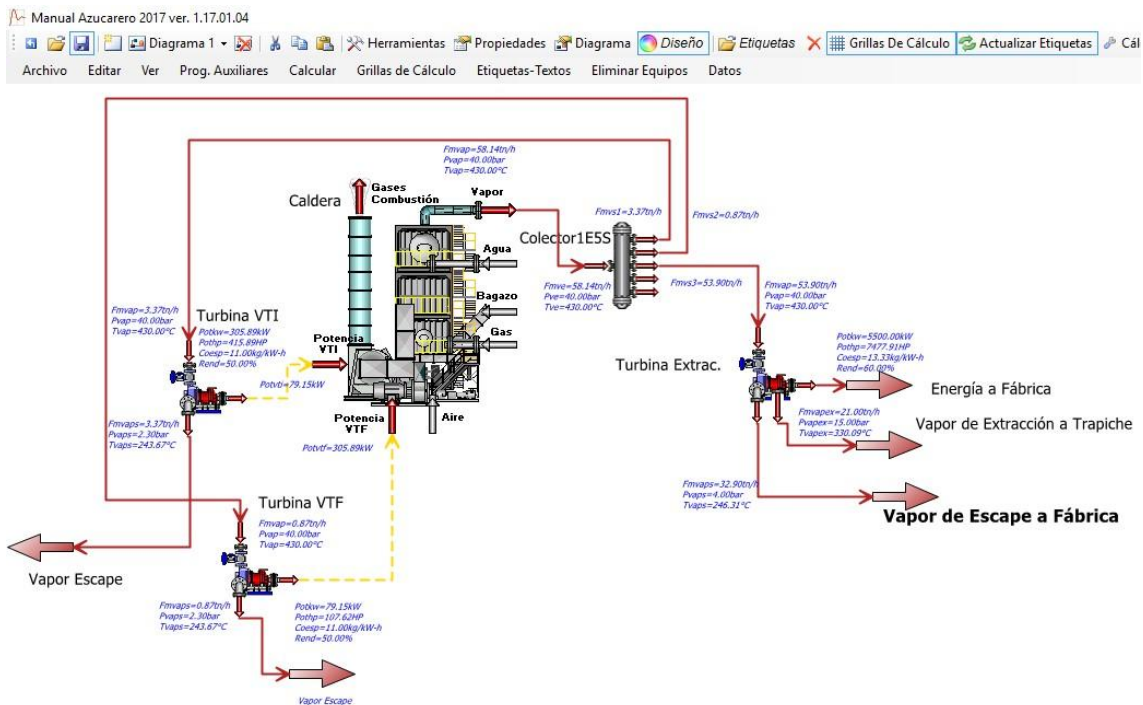


Fig. 3 Caldera Bagacera con VTI y VTF accionados por Turbinas de Vapor.

La potencia de estos ventiladores se transmite como una línea de flujo en el diagrama, hacia las turbinas, lo que permitirá calcular el consumo de vapor de éstas, y la temperatura de escape, en función de la presión y el balance de entalpía para una expansión isoentrópica, con un rendimiento definido para la máquina seleccionada (politrópica).

La totalidad de las ecuaciones utilizadas para los cálculos, balances de masa y energía, propiedades físicoquímicas y termodinámicas, son las más rigurosas obtenidas de la literatura y/o asociaciones e institutos específicos como ASME, ASHRAE, ASTM, IAPWS, CAPE-OPEN, y otros.

En la **Fig. 4**, se muestran solo dos de las grillas de cálculo con los resultados para este proyecto. Los consumidores de vapor son las turbinas de los VTI y VTF, más otra turbina con extracción de vapor para el trapiche y generando energía eléctrica para la fábrica. La grilla de la caldera indica que la producción total de vapor a 40 bar y 430 °C, es de 57.58 tn/hr, con un consumo de bagazo de 30.11 tn/hr, es decir 1.91 tn vapor/tn bagazo, con un rendimiento de 83.37 %. Toda la información se muestra en las grillas respectivas, muy claramente. Los datos de importancia seleccionados, pueden aparecer en las etiquetas a la entrada y salida de las corrientes.

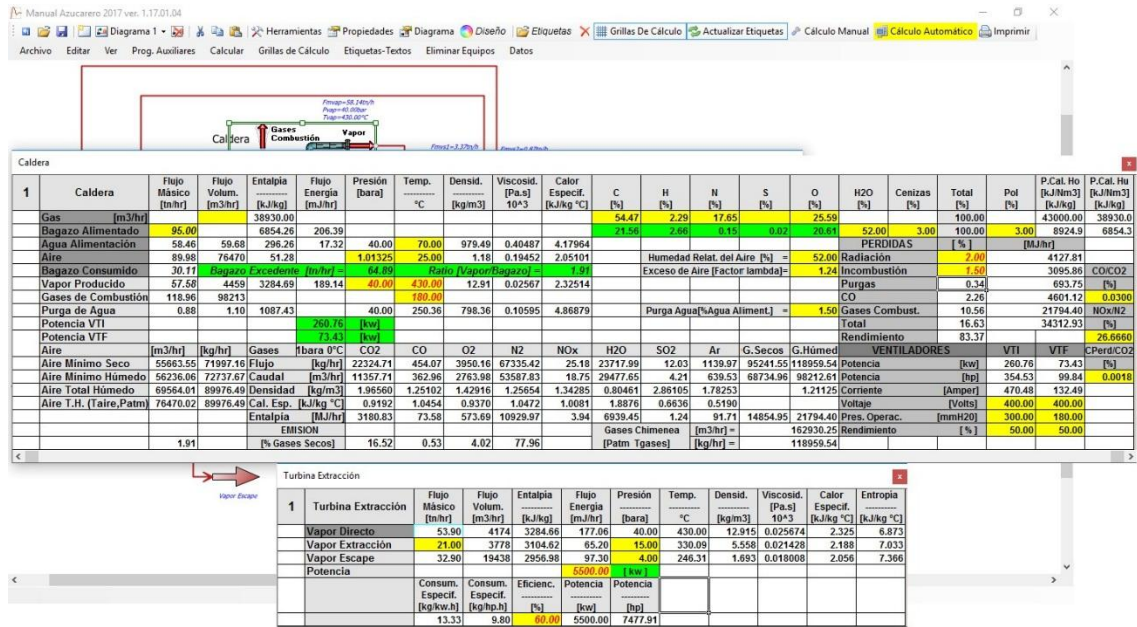


Fig. 4 Grillas de Caldera y Turbina con Extracción (información de dos equipos).

La **Fig. 5** muestra un proyecto más complejo, donde se analiza un importante sector de una fábrica azucarera, que incluye tachos de cocimiento, centrifugas, disolutores, condensador barométrico, bombas, etc. Resolver este ejemplo manualmente tomaría muchísimo tiempo, aún

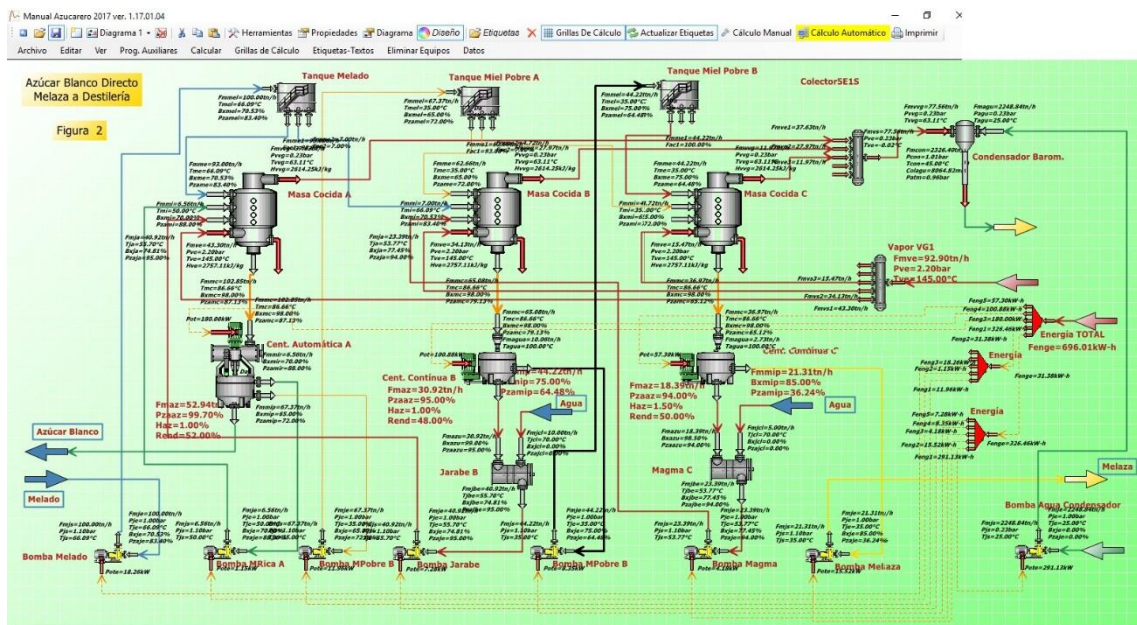


Fig. 5 Diagrama de Flujo para Tachos y Centrifugas produciendo Azúcar Blanco Directo

con herramientas tipo diseño rápido, y se obtendrían datos aproximados y a veces erróneos. Dada la limitación de espacio disponible, no se incluye la planilla de resultados totales, pero se puede obtener la información más importante del diagrama de flujo mismo, observando las etiquetas. El cálculo se resuelve iterativamente hasta convergencia, y la velocidad dependerá de la complejidad del mismo y la cantidad de valores de propiedades físicas y termodinámicas que se determinen.

Programas Auxiliares.

Los programas auxiliares son parte de Manual Azucarero 2017, y se aplican en todo cálculo de balances de masa y energía, pero también pueden ser usados individualmente para resolver casos puntuales, ya que poseen su propia interfaz.

Aire 2017 - Este software fue desarrollado usando una de las ecuaciones de estado, para obtener las propiedades termodinámicas del aire. Las fórmulas son las aprobadas por la *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE)*.

TERMO 1.1 - Software basado en CAPE-OPEN 1.1, plataforma estándar, abierta, desarrollada por *CAPE-OPEN Laboratories Network (Co-LAN)*, la cual permite obtener las propiedades físicas y termodinámicas de una infinidad de componentes puros y sus mezclas, para el diseño y operación de procesos químicos.

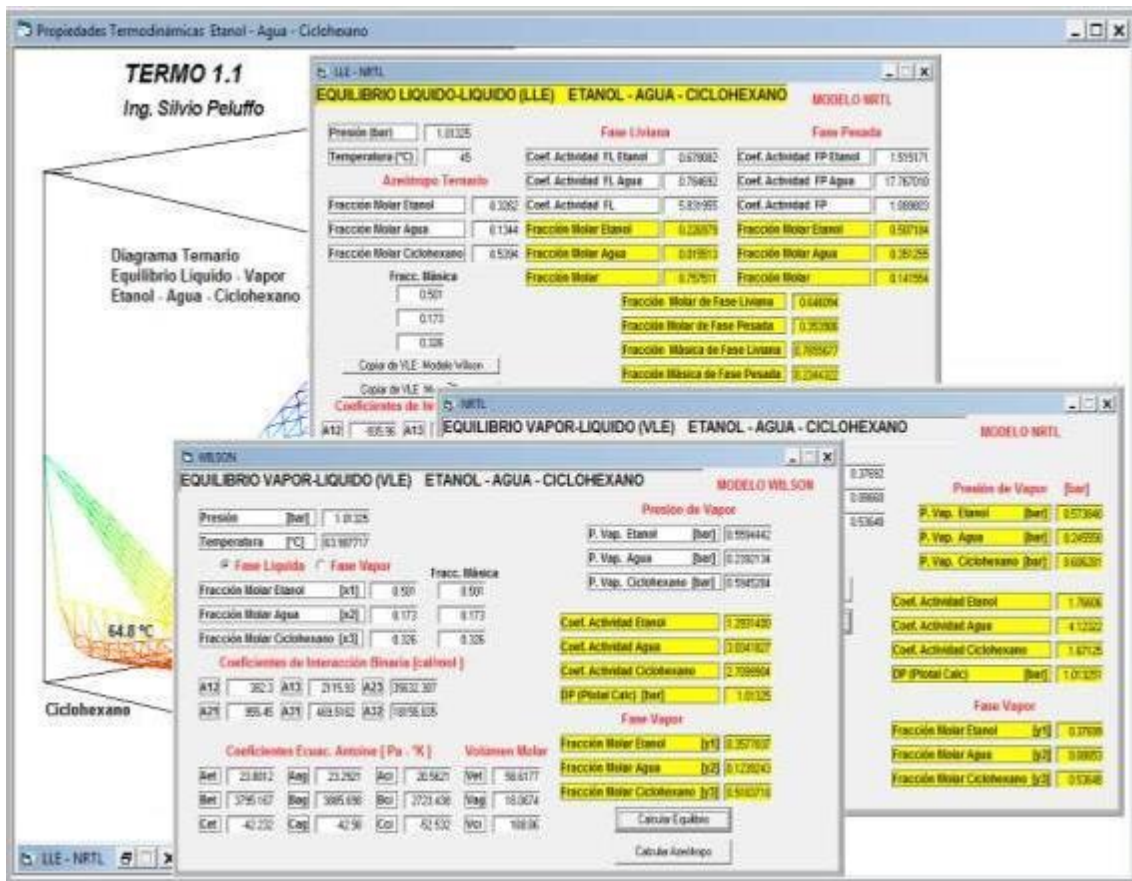


Fig. 6 – Equilibrio LL y VL en mezcla etanol-agua-ciclohexano, modelos Wilson y NRTL.

El uso de esta plataforma en la industria azucarera permite desarrollar proyectos o analizarlos, en las destilerías de etanol, particularmente en la deshidratación del mismo usando ciclohexano como formador del azeótropo ternario, **Fig. 6**. Es posible obtener los diagramas de equilibrio, fase líquida y/o vapor, para la mezcla etanol-agua-ciclohexano, y sus correspondientes

azeótropos binarios y ternarios. Algunas otras propiedades, como como fugacidad, densidad, factor de compresibilidad, entalpías, capacidad calorífica, etc., son calculadas usando los métodos de grupos de contribución (UNIFAC, ASOG), otros modelos basados en los coeficientes de actividad (NRTL, Wilson, UNIQUAC), o en la Ecuación de Estado (Gas Ideal, Virial y Cúbica).

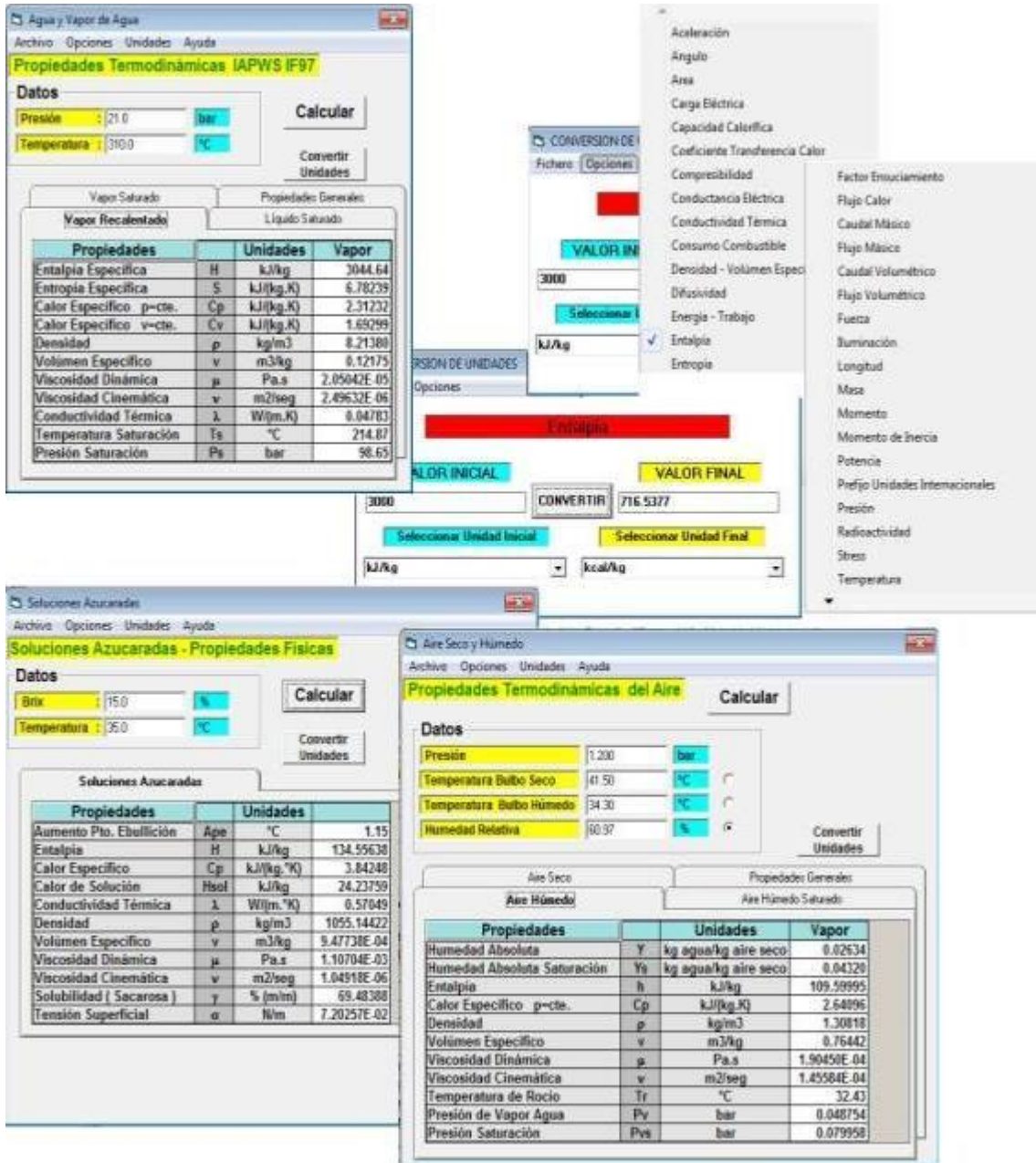


Fig. 7 - Algunas de las interfaces de los Programas Auxiliares

Vapor 2017 - En 1997, IAPWS, **International Association for the Properties of Water and Steam**, adoptó una nueva formulación para uso industrial denominada IAPWS-IF97. Este paquete contiene las fórmulas necesarias para las propiedades dependientes o no de los valores de presión y temperatura, y para vapor en la línea de saturación. Estas numerosas y complejas ecuaciones, agrupadas para las cinco regiones en la que se divide la carta presión-temperatura de vapor, con límites de 100 MPa y 2273.15 °K, son usadas como norma internacional y de hecho son parte de Vapor 2017. Los Programas Auxiliares se muestran en la **Fig. 7**.

Flujo 2017 - Frecuentemente en la industria azucarera, los ingenieros necesitan efectuar cálculos para transportar por cañerías fluidos como vapor, agua, aire comprimido, jugos, mieles, melazas, etanol, gas natural, etc. Flujo 2017 permite dimensionar los componentes necesarios para el circuito, cañerías, codos, curvas, reductores, válvulas, etc., y obtener la caída de presión, para seleccionar la bomba que lo impulsará. Esta herramienta simplifica notablemente el cálculo eliminando el uso de ábacos y/o cartas, usadas en un interminable trabajo manual. Una interfaz gráfica muy intuitiva permite construir un circuito isométrico real, incluyendo todos los elementos necesarios, cañerías, codos, válvulas, etc., a partir del cual se obtiene la grilla de cálculo necesaria que usa las ecuaciones fundamentales, para obtener la caída de presión y la potencia de la bomba. Esto permite seleccionar rápidamente el circuito más conveniente, técnica y económicamente. La selección de las cañerías y los accesorios se obtienen de una base de datos según estándares como ASME, ANSI, ASTM, AGA, API, AWWA, BS, ISO, DIN y otros.

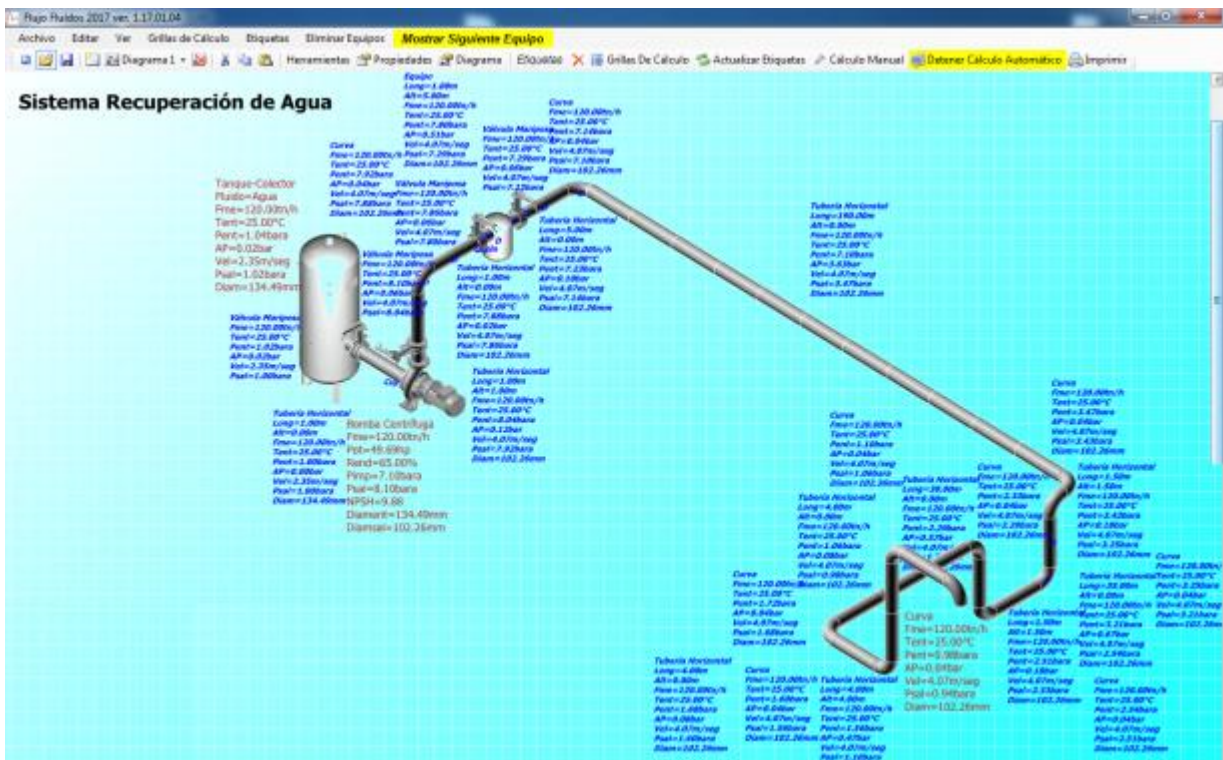


Fig. 8 - Vista isométrica del proyecto de recuperación de agua.

Flujo 2017, permite analizar un ejemplo como el de la **Fig. 8**, donde el agua es impulsada con una bomba centrífuga alimentada desde un tanque. El circuito consta de cañerías verticales y horizontales, accesorios y válvulas que contribuyen a la pérdida de carga total. El diagrama de flujo se arma rápidamente, arrastrando cada elemento desde la barra de herramientas, cañería o accesorio, el que se posicionará automáticamente uno detrás del otro. El circuito, lógicamente, debe tener una alimentación a la bomba, positiva o negativa, cuya altura dependerá del NPSH de la bomba. Las propiedades físicas y termodinámicas del agua se calculan automáticamente en función de las temperaturas y presiones utilizadas. Las características, dimensiones de cañerías y accesorios, se obtienen de las bases de datos y cálculos normalizados, mediante interfaces muy sencillas y completas, como se muestra en la **Fig. 9**. El cálculo da como resultado que, para un flujo de 120 tn/hr, de agua a 25 °C, se necesita una bomba de 49.69 hp, tomando un 65 % de rendimiento. Las Grillas de Cálculo muestran toda la información, y parte de ella se puede ver en las etiquetas de cada elemento.

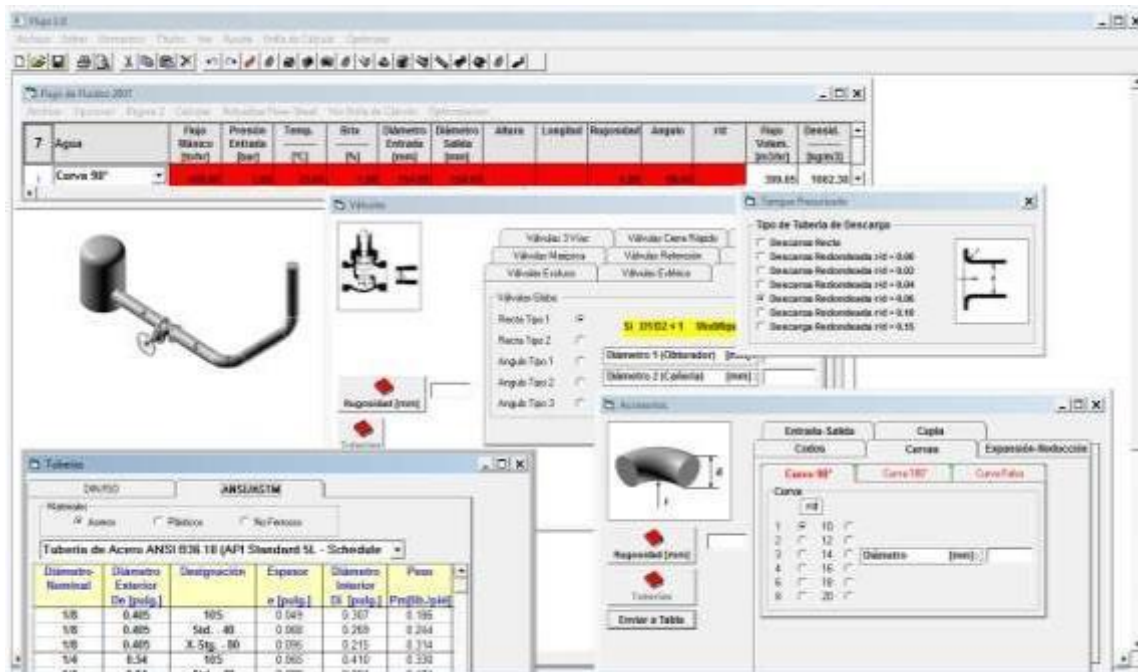


Fig. 9 – Información de accesorios, cañerías y válvulas de la base de datos de Flujo 2017.

Flujo 2017, también realiza cálculos para la medición de caudales utilizando elementos e instrumentos de presión diferencial. Este desarrollo hace uso de las normas internacionales ISO 5167-2003 International Standard, ASME MFC-14M-2003, British Standard 1042, Part 1, Section 1.2, American Gas Association Report No.3, Part 1, 3rd Ed, 1990, y otras, para obtener el coeficiente de descarga C_d , para placas orificio (circulares, excéntricas, segmentadas), ISA Nozzles, Long Radius Nozzles, Venturis, etc. Para el caso particular de medición del consumo de gas natural, se ha implementado en Flujo 2017, la norma AGA 8 – 1992 (Detail Characterization Method), de American Gas Association, la cual permite calcular la densidad y el factor de compresibilidad, en base a la composición molar del gas natural con 21 componentes. La interfaz gráfica se muestra en la **Fig. 10**.

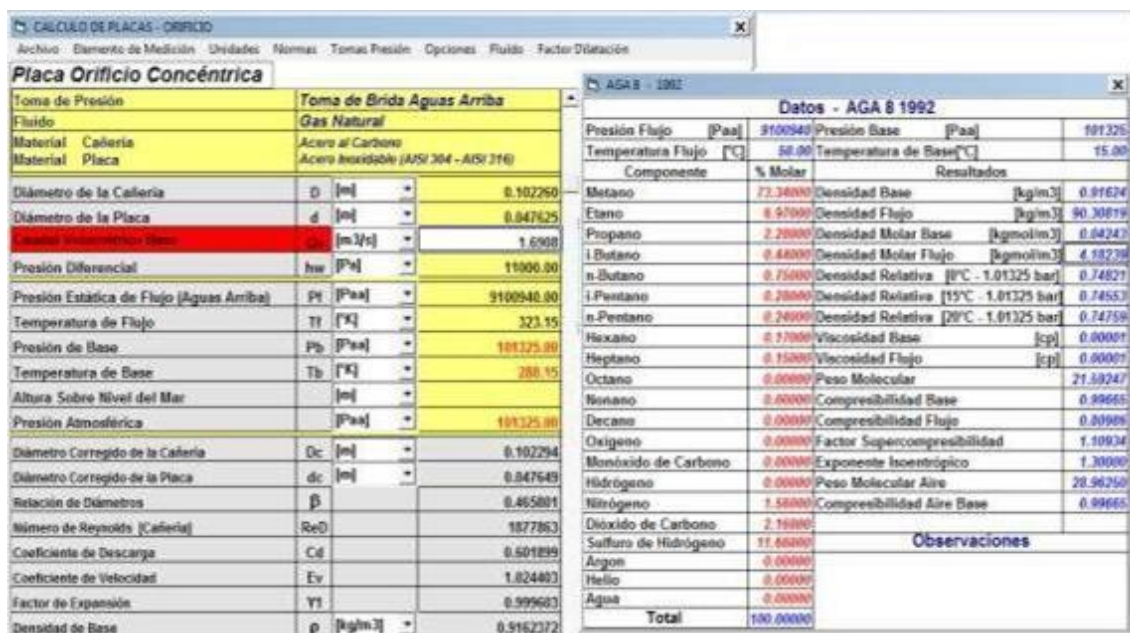


Fig. 10 - Interfaz gráfica para el cálculo de placas orificio

Conclusiones.

Manual Azucarero 2017 fue desarrollado como alternativa a los muy importantes softwares comerciales SUGARS, ASPEN PLUS, HYSIS, PROSIM, SIMCAD Pro, SIMUL 8, CHEMCAD, etc. , muy caros por cierto, y con dificultades para ser utilizados plenamente en la industria azucarera (excepto SUGARS). Manual Azucarero 2017 es más específico, con modelos matemáticos rigurosos, especialmente desarrollados para esta industria, de aplicación directa en las distintas áreas productivas, ya sea en diseño y/o evaluación, simulando esquemas que permitan optimizar el proceso. El uso en el área académica, facilitaría la tarea de aprendizaje de los estudiantes avanzados de ingeniería azucarera.

REFERENCIAS.

1. ASHRAE Headquarters ,1791 Tullie Circle, N.E. Atlanta, <http://www.ashrae.org> , basadas en los estudios de Hyland and Wexler, “Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K, W. Hyland and A.Wexler, ASHRAE Transactions, 89(2A) 500-519, 1983”, and “Formulations for the thermodynamic properties of dry air from 173.15 K to 473.15 K, and of saturated moist air from 173.15 K to 372.15 K, at pressures to 5 MPa, R. W. Hyland and A. Wexler, ASHRAE Transactions, 89(2A) 520-535, 1983”.
2. ASME, American Society of Mechanical Engineers, <http://www.asme.org>.
3. Aspen Plus, Aspen HYSYS, Aspen Technology, <http://www.aspentech.com>.
4. CAPE-OPEN Laboratories Network (CO-LaN), <http://www.colan.org>.
5. ProSim SA, <http://www.prosim.net/fr>.
6. Sugars International, LLC, <http://www.sugaronline.com>.
7. TEMA Tubular Exchanger Manufacturers Association, <http://www.tema.org> .
8. Spang Bernhard, Equations of IAPWS-IF97, <http://www.cheresources.com/iapwsif97.shtml>.