

**ELABORACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL DE EQUIPOS FUNDAMENTALES EN
PLANTAS DE PROCESOS QUÍMICOS**

**EVERTH ALFONSO VARGAS RUBIO
VICTOR ANDRÉS GUERRERO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**ELABORACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL DE EQUIPOS FUNDAMENTALES EN
PLANTAS DE PROCESOS QUÍMICOS**

Presentado por:

**EVERTH ALFONSO VARGAS RUBIO
VICTOR ANDRÉS GUERRERO QUINTERO**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

DIRECTOR:

PhD. FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS

CODIRECTOR:

Ing. Químico. IVAN DARIO ORDOÑEZ SEPÚLVEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A mis padres por ser pacientes y permitirme esta oportunidad al otorgarme apoyo económico durante esta etapa de mi desarrollo profesional.

A los familiares, amigos y demás personas que me brindaron ánimo para seguir adelante.

A Mr. BD, quien me ha dado el aliento que ha hecho falta para no desistir.

A la escritora británica Virginia Woolf (†), quien en sus libros dejó consignadas las palabras que han sido la guía en mi crecimiento personal.

Everth Alfonso Vargas Rubio.

A DIOS por su gran amor y por la fuerza que me brinda cada día para afrontar cada reto.

A mis padres por su gran apoyo y comprensión, y por siempre estar dispuestos a celebrar mis triunfos, y a levantarme en cada caída.

A mi hermana quien ha sido mi pilar y mi amiga incondicional, por estar ahí cuando más la he necesitado demostrándome todo su cariño.

A mis amigos de quienes aprendí cosas importantes para mi vida personal como también laboral.

A JYF, la personita que me ha apoyado, brindándome su cariño, comprensión, y quien me ha enseñado que los sueños pueden cumplirse.

Víctor Andrés Guerrero Quintero

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director PhD. Fredy Augusto Avellaneda, por depositar su confianza en nosotros al emprender este trabajo de grado y brindarnos apoyo en el desarrollo del mismo.

Al ingeniero químico Iván Darío Ordoñez, por brindarnos la oportunidad de trabajar esta idea en su compañía y ser el codirector irremplazable que nos proporcionó el conocimiento y la asesoría imprescindible, necesarios para cumplir satisfactoriamente con los objetivos de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. MÉTODO DE GUTHRIE	18
1.2. MÉTODO DE MATCHE	21
1.3. EFECTO DEL TIEMPO SOBRE EL COSTO DEL EQUIPO	21
2. METODOLOGÍA	23
2.1. INVENTARIO DE EQUIPOS.....	23
2.2. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA PECE	23
2.2.1. Función PECE	23
2.2.1.1. Implementación del método de Guthrie	24
2.2.1.2. Implementación del método Matche.	25
2.2.1.3. Ajustes finales.....	27
2.2.2. Diseño de la interfaz.	27
2.2.3. Integración de la interfaz con la función PECE	30
2.3. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES DEL PROGRAMA	30
2.4. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA, ENCUESTA Y SOCIALIZACIÓN	30
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	32
3.1. Finalización de la herramienta PECE	32
3.2. EVALUACIÓN DEL PECE	32
3.2.1. Reporte de errores y fallas de ejecución.....	32
3.2.2. Resultados de la encuesta y sugerencias.....	33
3.2.3. Mejoras realizadas en el programa.....	35
3.3. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS ORIGINALES RESPECTO A LOS IMPLEMENTADOS EN EL PECE.....	35
3.3.1. Método de Guthrie.	35

3.3.2. Método de Matche.	37
3.4. COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS IMPLEMENTADOS EN EL PECE	39
4. CONCLUSIONES	41
5. RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Precisión de estimación de inversiones.	16
Tabla 2. Errores de la primera versión del PECE respecto a los métodos de la literatura	33
Tabla 3. Porcentaje de error Guthrie PECE vs Guthrie original	37
Tabla 4. Errores promedio por equipo y error global del método.	38
Tabla 5. Comparación de Matche PECE vs Guthrie PECE	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Interfaz gráfica del PECE.....	29
Figura 2. Evaluación del desempeño del PECE	34
Figura 3. Ejercicio 1 de anexo A en PECE	36
Figura 4. Ejercicio 2 de anexo A en PECE	36
Figura 5. Histograma de frecuencias de error de Matche PECE vs Matche	
Original	38

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ejemplos detallados de la aplicación del método de Guthrie	47
Anexo B. Ejemplo detallado del uso de la interfaz en línea de Matche.....	51
Anexo C. Lista de equipos implementados en PECE	52
Anexo D. Formato de evaluación del PECE	56
Anexo E. Encuesta	57
Anexo F. Ejemplo de uso y tutorial del PECE	58
Anexo G. Resultados de la encuesta.....	63

RESUMEN

TITULO: ELABORACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL DE EQUIPOS FUNDAMENTALES EN PLANTAS DE PROCESOS QUÍMICOS¹

AUTORES: EVERTH ALFONSO VARGAS RUBIO. VICTOR ANDRÉS GUERRERO QUINTERO²

PALABRAS CLAVE: ESTIMACIÓN DE COSTOS, CAPITAL DE EQUIPOS, COTIZACIÓN DE EQUIPOS, INDICES DE COSTOS, CEPICI, SOFTWARE DE ESTIMACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

Se desarrolló una herramienta informática para la estimación de costos de capital de equipos, denominada *Process Equipment Cost Estimation*, PECE. Se implementaron los métodos de estimación de costos de Guthrie y de la herramienta informática en línea Matche, ya que estos son los más referidos tanto en la literatura como en la vida práctica industrial. Para el método de Guthrie se aplicaron ecuaciones algebraicas que modelan el costo de los equipos y se programaron las tablas de constantes; mientras que para la parametrización del Matche fue necesario realizar múltiples ensayos, para representar los costos en una correlación aproximada. Ambos procesos se introdujeron en la interfaz gráfica de la herramienta, usando el lenguaje de programación Visual Basic y controles ActiveX. La primera versión se sometió a pruebas y evaluación con los estudiantes de la asignatura de "Análisis de procesos" del programa de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. En esta se detectaron fallas y errores, que fueron corregidos para la versión oficial del programa. Se evaluó la exactitud del PECE, comparando los resultados obtenidos en el programa con los costos calculados por los métodos originales, encontrándose así un error porcentual no significativo, por lo que se califica al PECE como una herramienta confiable.

¹ Proyecto de grado

² Facultad de ingenierías Físico-Química. Director Fredy Augusto Avellaneda Vargas PhD.
Codirector Iván Darío Ordoñez Sepúlveda Ing. Químico.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR ESTIMATING CAPITAL COSTS FOR BASIC EQUIPMENT FOR CHEMICAL PROCESSES PLANTS³

AUTHORS: EVERTH ALFONSO VARGAS RUBIO. VICTOR ANDRÉS GUERRERO QUINTERO⁴

KEYWORDS: COSTS ESTIMATION, EQUIPMENTS CAPITAL, EQUIPMENTS QUOTE, COSTS INDEX, CEPCI, ESTIMATION SOFTWARE

DESCRIPTION:

We developed a software tool for estimating capital costs of equipment, it was called "Process Equipment Cost Estimation", PECE. For this, we implemented the Guthrie and the Matche methods, since these are the most referred in literature as in industrial practical environment. For the method of Guthrie, algebraic equations for modeling the cost of equipment were applied; while for Matche, multiple tests trials were necessary for representing an approximate correlation costs. Both processes were introduced in the graphical interface of the instrument, using the programming language Visual Basic and ActiveX controls. The beta version of the tool was tested by students from the subject of Process Analysis, Chemical Engineering program, Industrial University of Santander. Every discrepancy and errors detected were fixed in the official version of the program. PECE results were compared with those calculated using original methods. We found a non-statistically significant percentage error between them, so it qualifies PECE as a reliable tool for costs calculation.

Was successful the idea of using the equation for calculating the cost based modeling method of Guthrie and implement the method in the PECE matche. Overall the results were very favorable, since very close to those reported by the website results were obtained.

³ Degree project

⁴ Facultad de ingenierías Físico-Química. Director Fredy Augusto Avellaneda Vargas PhD. Codirector Iván Darío Ordoñez Sepúlveda Ing. Químico.

INTRODUCCIÓN

Desde los tiempos de la industrialización, los procesos químicos industriales escenifican un gran sector de la economía mundial, de manera que el desarrollo de tecnologías o la introducción de nuevos procesos industriales deben cumplir criterios de viabilidad técnica y sostenibilidad económica. Previo a la implementación de estos avances, es conveniente realizar un estudio que requiere en esencia de las siguientes etapas: estudio de mercado, técnico, económico, rentabilidad, riesgo financiero, comercialización, arranque y operación de la planta [1].

Un proceso industrial podrá tener una estabilidad exitosa en el mercado, únicamente si el análisis económico preliminar resulta favorable. Se procede a realizar el análisis económico, una vez que se haya establecido el potencial de mercado para el producto a ofertar y la probable cuantía de los bienes a vender. Esta información son las bases mínimas para determinar la capacidad de la planta a instalar [2].

Una vez establecida la capacidad de la planta se procede a establecer la inversión necesaria para la puesta en marcha del proyecto. Si se trata de la implementación de una tecnología ya desarrollada anteriormente, se puede recurrir a la experiencia del organismo licenciador de dicha tecnología y consultar sus fuentes especializadas para adecuar su costo de inversión a los requerimientos definidos en el estudio de mercado. Sin embargo, esta información no está siempre disponible, ya que la mayoría de las empresas fabricantes de equipos a escala industrial mantienen en privacidad o secreto el desarrollo o implementación de nuevos procesos y en consecuencia también sus costos. Lo anterior obliga a los ingenieros a realizar una estimación razonable que sea aceptable para fijar un

potencial económico de la planta. En consecuencia, el costo de inversión tiene un porcentaje de precisión probable y está en función del nivel de desarrollo del proyecto (ver Tabla 1).

Tabla 1. Precisión de estimación de inversiones [3].

TIPOS DE ESTIMACIÓN	BASE GENERAL	PRECISIÓN PROBABLE
Orden de magnitud	Información previa sobre costos similares	40
Estudio vía factores de estimación	Conocimiento de un diagrama de flujo	25
Estudio preliminar	Datos suficientes para la preparación de un presupuesto	12
Definitivo (control del proyecto)	Datos detallados, pero diagramas incompletos.	6
Detallado (Firma constructora)	Diagramas y especificaciones completas.	3

Cualquier método de estimación de costos de inversión consta de dos pasos generales: La estimación del costo base de cada equipo y el uso de los factores de experiencia, para incluir los accesorios adicionales o especiales que se requieren para la operación de esos equipos [4].

Desafortunadamente, para las fases de evaluación preliminar durante el proyecto de inversión de una planta nueva no se dispone con facilidad de bases de datos completas, rigurosas y siempre actualizadas de los equipos, que garantice un valor igual al precio ofrecido por los fabricantes de equipos industriales. Por tanto, se torna dificultoso para el ejercicio tanto académico como industrial acceder a dicha información. Los fabricantes reportan datos puntuales solo si para ellos existe cierta certeza de lograr una venta del equipo o cuando se solicita una cotización formal a nombre de una empresa industrial de renombre. En

consecuencia, existen algunos métodos de estimación de costos de equipos industriales en la literatura, que mediante las características de diseño y las variables de operación de los mismos se obtiene un valor aproximado de su precio.

Generalmente los métodos de estimación de los costos de capital de equipo son procedimientos tediosos, lo cual ha conllevado a que las entidades o personas interesadas en dicha información se apoyen en métodos de cálculo o en herramientas informáticas encontradas en la web que son como “cajas negras”, (debido a la no especificación del procedimiento implementado para esta estimación).

Dada la necesidad de una herramienta rápida para la estimación de costos de capital de equipos industriales, en este proyecto se presenta el desarrollo de una solución a este problema, mediante una interfaz que reúne las ventajas de las herramientas informáticas y los métodos de cálculo tradicionales. Para llegar a tal meta, se desarrolló una interfaz gráfica como un software de cálculo en la plataforma de Microsoft Excel[®] utilizando *VB Applications*. En esta interfaz se implementaron dos métodos de estimación de costos de equipos, mediante la elaboración de macros de VB, y a la que finalmente se le denominó PECE (*Process Equipment Cost Estimation*).

1. MARCO TEÓRICO

En el desarrollo de una planta, obtener cotizaciones por parte de un proveedor es la manera más exacta y confiable para establecer el capital inicial de inversión. Otra opción consiste en consultar bases de datos de equipos comprados previamente y ajustar su precio a valor presente. Cuando no se es posible llevar a cabo una de las dos opciones anteriores, lo más indicado es optar por el uso de métodos de estimación de costos, los cuales se basan en procedimientos algebraicos o gráficas ajustadas para efectuar dicha estimación [4]. El costo aproximado de capital de un equipo específico, está representado de manera general y en cualquier método de estimación, por la siguiente ecuación:

$$\text{Costo del equipo} = C_{BM} * \text{Corrección del tiempo} + \text{Factor de traslado}$$

Ec.1

Donde CBM representa el costo puro del equipo calculado según el método usado, es decir, cotizado en el año que reporta el método y sin incluir el factor de traslado, el cual indica el incremento del valor por efectos de embalaje. En el programa PECE se implementó el método de Guthrie [5] y el método Matche [6], ya que estos son los más populares tanto en la literatura como en la vida práctica industrial.

1.1. MÉTODO DE GUTHRIE

Guthrie en el año 1969 se basó en 42 proyectos de plantas de procesos para elaborar una de las mejores recopilaciones que se hayan hecho sobre la estimación de costos de capital de equipos [5]. Aun cuando el método es de hace ya varias décadas, constituye un trabajo clásico que ha servido como base para el

desarrollo de otros métodos y su uso para la estimación de costos de inversión sigue siendo notable en la actualidad. El trabajo de Guthrie incluye la posibilidad de estimar módulos para el cálculo de costos de oficinas, edificios, terrenos, adecuación y operación de la planta [7,8]. En este caso, la estimación del módulo de capital de equipos, es lo que presenta interés y se expone a continuación:

Los datos para el desarrollo de este método actualizado, se obtuvieron de las manufactureras de equipos entre mayo a septiembre de 2001. Dichos datos se estandarizaron para cada equipo, en un ambiente de presión de operación atmosférica y usando acero al carbón como material de construcción. El costo base del equipo (Cp^0) a estas condiciones se resume en la siguiente ecuación empírica.

$$\log_{10} Cp^0 = K_1 + K_2 \log_{10}(A) + K_3 [\log_{10}(A)]^2$$

Ec.2

Donde A representa el tamaño o capacidad del equipo y K_1 , K_2 y K_3 son constantes particulares que se extraen de la base de datos de equipos que está implementada en el método [9].

En el método de Guthrie para ajustar el costo base a uno que integre una presión de operación distinta a la atmosférica se calcula un factor de presión (F_p). La ecuación 3 resume los ajustes de presión aplicable para todos los equipos, excepto para torres y recipientes de procesos.

$$\log_{10} F_p = C_1 + C_2 \log_{10}(P) + C_3 [\log_{10}(P)]^2$$

Ec.3

Donde P es la presión de operación del equipo. Los valores de las constantes C_1 , C_2 y C_3 y los rangos válidos de presión, se extraen de la tabla de factores de

presión para equipos de procesos [9]. Los valores de las constantes de dicha tabla fueron seleccionados de los datos de Guthrie y Ulrich [7,8]. En el caso de torres y recipientes de procesos se usa la siguiente ecuación [9]:

$$Fp = \frac{\frac{(P + 1)D}{2[850 - 0.6(P + 1)]} + 0.0315}{0.0063}$$

Ec.4

Donde D es el diámetro y se tiene en cuenta que t (espesor) debe ser mayor que 0.0063 m, para los valores que no cumplen con esta condición el factor de presión se hace igual a 1 [10].

Los factores de material (F_m) para intercambiadores de calor, recipientes de procesos y bombas, se toman de las gráficas de corrección por material, teniendo en cuenta el número de identificación del material, según el equipo. B1 y B2 se leen de la tabla de constantes para el factor de módulo puro según y se reemplazan en la siguiente ecuación:

$$C_{BM} = Cp^0 * F_{BM} = Cp^0 (B1 + B2 * F_M * F_p)$$

Ec.5

CBM es entonces, el costo base de capital del equipo hallado a las condiciones de operación requeridas.

Para los equipos restantes, se relaciona el material con los factores de presión por ecuaciones diferentes a la ecuación 4. La estructura de dichas ecuaciones está consignada en la tabla de ecuaciones para el cálculo del CBM. Los factores de módulo, según el material, que corresponden a las ecuaciones de dicha tabla, son dados en la figura de factores de módulo puro, usando el número de identificación correspondiente [9,11,12].

Para efectos de comprensión—y detalle del método, en el anexo A se presentan dos ejemplos desarrollados de la aplicación del mismo.

1.2. MÉTODO DE MATCHE

MATCHE es una entidad que tiene como finalidad proporcionar apoyo a las decisiones de calidad para el desarrollo de nuevos productos, nuevas tecnologías en procesos o mejoras en los productos químicos, energía, manufactura y metalurgia [13]. Dicha entidad ofrece un método de estimación de costos de capital de equipos que se puede usar gratuitamente en línea [6]. Este método consiste básicamente en una herramienta informática que se muestra como una interfaz de cálculo en la que se puede calcular el costo de capital seleccionando el equipo (bombas, compresores, filtros, etc.), tipo de equipo (en el caso de bombas sería: centrífuga, axial, reciprocante, etc.) y características del mismo. Este método es atractivo gracias a su facilidad de uso y a la amplia base de datos de equipos que tiene implementada. Cabe aclarar que este método no especifica el modelo matemático que usa, ni entrega detalles sobre cómo se obtienen los costos, es uno de los llamados “métodos de caja negra”. En el anexo B, se observa un ejemplo de cómo se efectúa el cálculo del costo de un equipo usando la herramienta en línea de Matche. < www.matche.com/equipcost/Default.html >

1.3. EFECTO DEL TIEMPO SOBRE EL COSTO DEL EQUIPO

Si se tiene el costo de un equipo reportado en un tiempo determinado, es posible convertirlo a un valor preciso en el presente o el tiempo en el que se requiera cotizarlo. Para ello se depende de los registros económicos y la correlación entre la información de precios, siendo además esencial actualizar aquellos valores,

teniendo en cuenta las condiciones económicas como la inflación y el efecto de la oferta y demanda del mercado. Se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$C_2 = C_1 * \frac{I_2}{I_1}$$

Ec. 6

Donde, C es el costo del equipo e I el índice del costo para ese año; el subíndice 1 refiere al tiempo base en el que se conoce el costo y el subíndice 2 al tiempo en el que se requiere estimar el costo del equipo.

En ingeniería hay varios métodos para ajustar el efecto de la inflación y el mercado. Aunque todos los índices son similares, el más aceptado es el Índice de Costos de Plantas en Ingeniería Química (CEPCI por sus siglas en inglés), publicado en la revista *Chemical Engineering* [14,15].

2. METODOLOGÍA

2.1. INVENTARIO DE EQUIPOS.

De acuerdo a los métodos a implementar, se elaboró una lista de los equipos importantes y más usados en la industria de los procesos químicos. Se hizo énfasis especial en qué tipo de equipo era posible implementar en cada método, así como en las propiedades que deben ser ingresadas para calcular el costo de capital del mismo. Por ejemplo, en el caso de los compresores, se determinó que los de tipo centrífugo están implementados en ambos métodos y que las propiedades de entrada para efectuar la estimación de su costo son: potencia, presión de operación y material.

De esta manera se registraron equipos a los que se les puede calcular su precio mediante ambos métodos y otros a los que sólo se es posible hallar su costo de capital mediante uno de ellos (ver lista de equipos en el anexo C).

2.2. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA PECE

2.2.1. Función PECE. La etapa inicial del desarrollo de PECE consistió en crear una función para Excel usando lenguaje de programación en Visual Basic. En dicha función se implementaron ambos métodos de Guthrie y Matche, con el fin de calcular el costo de los equipos directamente desde la barra "Insertar función (fx)". Se estableció entonces el modelo de la función que se presenta a continuación:

= PECE ("Nombre del equipo", "tipo de equipo", "Método de cálculo", "Año de cotización", "Propiedades del equipo")

Ec. 7

Dicha función representa el resultado del costo del equipo ajustado a un tiempo de cotización deseado, es decir, no incluye el factor de traslado. De acuerdo a lo anterior, PECE no tiene en cuenta el último término de la ecuación 1.

Las propiedades del equipo son un listado de las características del mismo (por ejemplo, en el caso de reactores serían: volumen, presión de operación y material de fabricación), contiguo a las propiedades se especifican su valor y las unidades dimensionales respectivas. La herramienta está construida para que las propiedades puedan ser ingresadas en el orden y en las unidades dimensionales que se desee. La cantidad de propiedades depende del equipo y tipo de equipo. La interfaz en Microsoft Excel[®] permite que el usuario conozca cuales son las propiedades requeridas para cada equipo.

2.2.1.1. Implementación del método de Guthrie. Para implementar el método de Guthrie, se ingresaron en las hojas de cálculo las tablas de las constantes utilizadas para el cálculo del Cp^0 , las constantes usadas para el cálculo del Fp y por ultimo las que se usan para calcular el FBM. Seguidamente se desarrolló una función de VB que permite filtrar las tablas, de acuerdo al equipo y tipo de equipo, para así extraer las constantes y los rangos de capacidad dispuestos para cada equipo. En la programación de la función se modificó la ecuación del cálculo del Cp^0 [9], quedando de la siguiente forma:

$$Cp^0 = 10^{K1+K2*\log_{10} A+K3*(\log_{10} A)^2}$$

Ec.8

De la misma manera se tomaron las constantes de la tabla del Fp y se programó la ecuación 8 para efectuar el cálculo del factor de presión de los equipos, excepto torres y recipientes de procesos. Para estos últimos se usó la misma ecuación reportada en el método original del Guthrie [9].

$$Fp = 10^{C1+C2*\log_{10} P+C3*(\log_{10} P)^2}$$

Ec.9

Una vez programado factor de presión se procedió a integrar el factor de corrección por el material de fabricación del equipo (F_M y F_{BM} , según el equipo) [9, 11,12]. Para esto se extrajeron de las tablas, las constantes para cada material de un equipo elegido previamente y se ingresaron las ecuaciones tal cual se encuentran consignadas en la descripción del método, teniendo en cuenta a su vez todas las restricciones pertinentes.

Finalmente, una vez programados los procedimientos para el cálculo del C^0p , el Fp y el F_{BM} , se hizo un procedimiento en el que el producto de estos tres factores, es el resultado del costo del capital del equipo calculado por el método de Guthrie.

$$C_{BM} = C^0p * Fb$$

Ec.10

2.2.1.2. Implementación del método Matche. Para implementar el método de Matche se efectuó un análisis estadístico teniendo en cuenta que el C_{BM} en el método de Matche es una función de las propiedades del equipo.

$$C_{BM} = f(\text{capacidad del equipo, presión, material})$$

Ec.11

De acuerdo a la ecuación anterior, se observó que el método de Matche está en función de las mismas variables de entrada que las usadas por el método de Guthrie, por lo que el análisis consistió en parametrizar el costo C_{BM} en función de la capacidad del equipo para una presión y material dado. Se realizó una serie de ensayos en la herramienta en línea, de manera que para un equipo con una presión y un material base definido, se varió su capacidad en el rango dispuesto por el método. El costo se modeló en base a la ecuación 12 del C^0p del método de

Guthrie [9]. Las correlaciones halladas representan el costo del equipo C_{BM} en función de su capacidad a una presión y material establecidos, cotizado en el año 2014, dado que este es el año que reporta la herramienta en línea [6].

$$\log_{10} C_{BM} = K_1 + K_2 \log_{10}(x) + K_3 [\log_{10}(x)]^2$$

Ec.12

Donde x representa la capacidad del equipo, dispuesto a $x_{\min} < x < x_{\max}$, según los límites permisibles en el método (ver ejemplo de ingreso de datos en Matche, en el anexo B).

Habiendo hallado las correlaciones, se procedió a realizar el mismo procedimiento con un material distinto, variándolo hasta obtener todas las correlaciones posibles para los distintos materiales. Cuando se evaluaron todos los materiales, se varió la presión según las opciones ofrecidas por el Matche y se repitió el procedimiento. De manera que al final, el tipo de equipo se evaluó en términos de capacidad para cada material y una presión definida, para luego variar la presión hasta obtener todas las combinaciones posibles y las correlaciones correspondientes. El número de correlaciones obtenidas para cada equipo, es el resultado de la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ Correlaciones} = N^{\circ} \text{ Tipos de equipo} * N^{\circ} \text{ Presiones disponibles} * N^{\circ} \text{ Materiales}$$

Ec.13

Fueron necesarias un total de 12.361 ejecuciones del modelo Matche en la web, para modelar correctamente los equipos escogidos de Matche en la herramienta PECE.

Después de haber efectuado el análisis estadístico, se tabularon los valores de las constantes según la correlación. Mediante Visual Basic se extrajeron los valores

de la tabla y se convirtieron en una matriz, que luego se filtra según el equipo, tipo de equipo y las características del mismo, para extraer las constantes y reemplazarlas en la ecuación de la correlación ya programada y así obtener el valor final del equipo según el método Matche.

2.2.1.3. Ajustes finales. Una vez implementados los dos métodos, se procedió a programar un convertidor que detecta las unidades que ingresa el usuario y convierte el valor a las unidades con las que trabaja el método.

Para poder calcular el precio aproximado de cada equipo en distintos años, se usó el índice CEPCI; para esto se consultaron los índices para cada año, a partir desde 1991 hasta el último índice reportado (mayo de 2014) [14,15]. Se implementó la ecuación 6 del efecto del tiempo para reemplazar automáticamente los índices y así obtener el costo aproximado del capital del equipo, calculado en el año ingresado por el usuario.

2.2.2. Diseño de la interfaz. El bosquejo de la interfaz se realizó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel[®] usando controles Activex y programación mediante macros de Visual Basic. El diseño se efectuó en el siguiente orden:

Las descripciones que se realizarán a continuación pueden ser corroboradas en la interfaz gráfica del PECE (Ver figura 1).

- Se crearon listas desplegables para los equipos y de tipo de equipos que cambian de acuerdo al equipo seleccionado. Estas se encuentran etiquetadas en la interfaz, como “Equipo” y “Tipo de Equipo” entre las filas 2 y 6 (Ver Figura 1).
- Para la elección del método se crearon dos botones de opción (uno por cada método), los cuales se activan dependiendo de la disponibilidad del método de

acuerdo al tipo de equipo seleccionado. Estos botones se encuentran etiquetados como “Guthrie” y “Matche” en la fila 7, a la derecha de la etiqueta “Método”.

- Se procedió a incluir una tabla de características del equipo entre la fila 8 y 20, donde se ingresa la capacidad del equipo, la presión y el material. En la primera columna de la tabla, aparece el listado de características que se deben ingresar para efectuar el cálculo del costo. En la segunda columna, debajo de la celda B9, aparece la etiqueta “Rango de validez”, en las celdas por debajo de la misma aparecen los límites permisibles para el ingreso de las características. En la columna “Valor”, ubicada a partir de la celda C9 se realiza el ingreso de datos (magnitud de cada propiedad). Debajo de la celda D9, la cual está etiquetada como “Unidades”, se encuentran las listas desplegables para modificar las unidades con las que se desea trabajar, según la característica. Al lado de la casilla etiquetada como “Material”, se implementó una lista desplegable que incluye los materiales disponibles para cada equipo.
- En la celda D21, se incluyó una casilla para el ingreso del año de cotización y una más donde aparece el costo unitario del equipo seleccionado, en la celda **D23**.
- Para efectos de cotizaciones completas de plantas o de cálculo de totales de un listado de equipos se añadió un botón de “Añadir a la lista” entre la fila 25 a 27, el cual imprime el equipo cotizado en una tabla que se extiende hacia abajo a partir de la fila 30. En dicha tabla, se describen las características generales del equipo en la manera que se ingresan en la función PECE. En la columna etiquetada como “Cantidad”, es posible modificar la cantidad de equipos que se necesitan cotizar. El costo unitario de cada equipo aparece en la columna etiquetada como “Costo unitario”. En la parte inferior de la tabla se encuentra el

total de los equipos cotizados y además, un botón etiquetado como “Borrar equipo de la lista” que permite borrar uno o varios equipos de la lista que sean seleccionados.

- A manera de convención se dejaron las casillas modificables de la interfaz en color blanco y las que no se encuentran están sombreadas en color azul.

Figura 1. Interfaz gráfica del PECE

	A	B	C	D
1	PECE 1.0			
2	(Process Equipment Cost Estimation)			
3	Equipo	Torres (Towers) ▼		
4				
5	Tipo	Platos (Trays) ▼		
6				
7	Método	<input checked="" type="radio"/> Guthrie	<input type="radio"/> Matche	
8	Características del equipo			
9	Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
13	Volumen	0,30 a 520 m3	10	m3
16	Presion	Sin restriccion	1	bar
17	Diametro	Diametro > 0	3	m
18	Espesor	Espesor > 0	1	m
19	Material	ACERO AL CARBON		
21	Año de cotización			2006
23	Costo del Equipo (EXW)			USD\$ 177.216
24				
25	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Añadir a la lista de compras</div>			
26				
27				
29	Lista de Compras de equipos			
30	Cantidad	Características	Costo unitario	
31				
32				
33	Borrar equipo de la lista		TOTAL =	USD\$ -

2.2.3. Integración de la interfaz con la función PECE. Se creó una función cuyo objetivo es integrar la función PECE con la interfaz. De manera que lee los datos ingresados en la interfaz, los transfiere a la función PECE para realizar el cálculo del costo de capital, según el método y los parámetros escogidos. Dicha función se ejecuta en la casilla **D23** de la interfaz gráfica, donde se muestra el costo estimado del valor del equipo. Seguidamente los resultados se integran nuevamente en la interfaz, disponibles para el usuario.

2.3. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES DEL PROGRAMA

- Los costos evaluados en PECE son equivalentes al Ex Works (EXW), que refiere al precio del equipo como si se adquiriese en fábrica.
- No se incluyen efectos de traslado de los equipos.
- La estimación del costo de capital no puede realizarse en años anteriores o posteriores a los listados en la tabla del CEPCI.
- La herramienta PECE se encuentra limitada a realizar estimación de costos de capital de únicamente los siguientes equipos consignados en el anexo C.

2.4. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA, ENCUESTA Y SOCIALIZACIÓN

Una vez culminada la primera versión del PECE y habiendo establecido sus restricciones, se presentó e instruyó sobre el uso de esta interfaz a los estudiantes de la asignatura “Análisis de Procesos” del programa de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. La exposición del programa consistió en enseñar a los estudiantes a usar la herramienta y entrar en el debate de críticas y sugerencias sobre el mismo.

Para efectos de evaluación del programa se diseñó un formato donde los estudiantes compararon los resultados de su trabajo (hallados por otros métodos) con los que pudieron obtener mediante PECE (ver formato en el anexo D). En este, los estudiantes consignaron su opinión acerca del programa, además, las comparaciones fueron útiles para determinar el error del PECE respecto a los métodos de la literatura que fueron implementados en la herramienta. Se realizó también una encuesta que permitió establecer opiniones puntuales sobre el diseño, amigabilidad, velocidad, precisión, exactitud y aceptación del programa (ver encuesta en el anexo E).

En base a los resultados de la encuesta, la información obtenida de los formatos y demás observaciones de los estudiantes, se realizaron las modificaciones posibles y pertinentes para mejorar el programa.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Finalización de la herramienta PECE

Tras la integración de la función PECE con la interfaz gráfica, se cumplió con el objetivo de desarrollar el programa que permite el cálculo de la estimación de costos de capital de equipos. Dicho programa proporciona el costo EXW del equipo, es decir, como si se comprase directamente en la fábrica proveedora, incluyendo el costo de instalación.

Para efectos de explicación del funcionamiento de la herramienta PECE, en el Anexo F se presenta a modo de ejemplo un tutorial que describe de manera ilustrativa como se debe realizar el uso del software.

El archivo con el cual se accede a la herramienta PECE, se integró a la plataforma en línea de la asignatura de análisis de procesos con el fin de que los usuarios de la universidad puedan acceder de forma gratuita al software.

3.2. EVALUACIÓN DEL PECE

3.2.1. Reporte de errores y fallas de ejecución. De los datos registrados por los estudiantes de la asignatura “Análisis de Procesos” en el formato de evaluación del PECE, se tabularon los errores presentes más significativos en cada método (ver Tabla 2).

Tabla 2. Errores de la primera versión del PECE respecto a los métodos de la literatura

Equipo	Errores en Matche [%]	Errores en Guthrie [%]
Tanques	53	65
Intercambiadores de calor	1042	34
Reactores	216	No aplica
Torres	No aplica	66
Calentadores	61	No aplica
Compresores	363	10
Recipientes de procesos	188	124

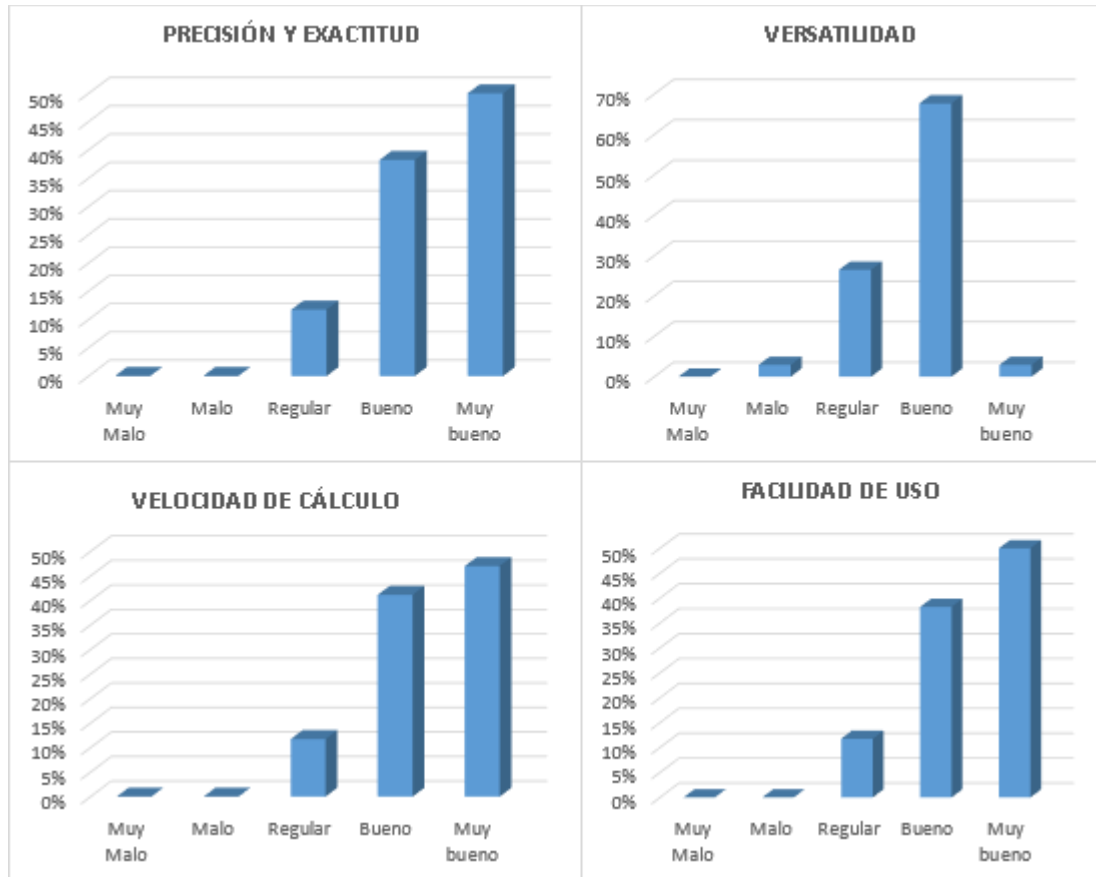
Adicionalmente, las opiniones específicas y más comunes respecto a las fallas de ejecución del PECE, se consignan en la siguiente lista:

- Para los intercambiadores de calor en el método de Guthrie los materiales no están implementados correctamente.
- Existen fallas en la interfaz al calcular los costos de tanques, recipientes de procesos y torres.
- Se observan incongruencias en los rangos del PECE respecto a los del método original.
- Se evidencia bloqueo de la herramienta en algunos equipos, al efectuar el cambio del método estimación de costos.

3.2.2. Resultados de la encuesta y sugerencias. Tras evaluarse mediante la encuesta la primera versión del PECE, se observaron resultados favorables (ver anexo G). En general, el programa presentó fortaleza en términos de velocidad de cálculo, precisión, exactitud y versatilidad. Sin embargo, se resaltan también las siguientes debilidades: inventario de equipos limitado, falta del reporte de fallas, incongruencias en las características del equipo a cotizar.

Poniendo en consideración especial el desempeño de la herramienta PECE, se obtuvieron los siguientes resultados a partir de la encuesta:

Figura 2. Evaluación del desempeño del PECE



Se observa entonces que el desempeño de la herramienta es bueno en general, siendo la versatilidad y la facilidad de uso las características que presentan mayor fortaleza.

Con el fin de realizar mejoras en la versión posterior del programa, se tuvieron en cuenta las sugerencias generales que fueron consignadas por los estudiantes en la encuesta, dichas sugerencias se presentan a continuación:

- Mejorar velocidad en el tiempo de carga
- Incluir más equipos
- Ampliar los rangos de las propiedades de entrada
- Incluir más materiales
- Adicionar otros métodos

3.2.3. Mejoras realizadas en el programa. Los errores en los costos calculados por el método de Guthrie, los materiales no implementados, las fallas en la interfaz, las incongruencias en las características de entrada y los rangos pertinentes se debían a errores en la programación de la lectura de los datos de las tablas concernientes al modelamiento de los métodos. Para corregir este error, fue necesario cada equipo con se etiquetara de forma especial para facilitar la lectura de dichas tablas. Adicionalmente, realizar este nuevo procedimiento ayudo a aumentar la velocidad de carga de la herramienta.

Para corregir los errores en los costos calculados mediante el método de Matche fue necesario ampliar el número de datos generados por la página web de Matche para utilizarlos en la parametrización del costo del equipo. Una vez hecho esto los valores de las constantes obtenidas y que son necesarias para el modelamiento, fueron más acertadas de acuerdo a la variación de los costos y por lo tanto la ecuación logarítmica de la correlación se ajustó mejor al comportamiento de los datos, presentando así errores muy inferiores a los que se habían reportado anteriormente.

3.3. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS ORIGINALES RESPECTO A LOS IMPLEMENTADOS EN EL PECE.

3.3.1. Método de Guthrie. Con el fin de evaluar la exactitud del método de Guthrie implementado en el PECE respecto al de la literatura, se tuvieron en

cuenta los ejemplos de aplicación que se encuentran consignados en el Anexo A. De estos, se tomaron las propiedades de cada equipo a cotizar y se reemplazaron en el software, para obtener el precio de cada uno según el PECE (ver figura 3 y 4).

Figura 3. Ejercicio 1 de anexo A en PECE

PECE 1.0
(Process Equipment Cost Estimation)

Equipo Intercambiadores de calor (Heat Exchangers) ▾

Tipo Cabeza flotante (Floating head) ▾

Método Guthrie Matche

Características del equipo

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Area	10 a 1.000 m2	100	m2
Presion	0 a 140 bar	1	bar
Material	CS-CARCAZA/CS-TUBO ▾		

Año de cotización 2001

Costo del Equipo (EXW) USD\$ 83.329

Añadir a la lista de compras

Lista de Compras de equipos

Cantidad	Características	Costo unitario
----------	-----------------	----------------

Figura 4. Ejercicio 2 de anexo A en PECE

PECE 1.0
(Process Equipment Cost Estimation)

Equipo Torres (Towers) ▾

Tipo Platos (Trays) ▾

Método Guthrie Matche

Características del equipo

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Volumen	0,30 a 520 m3	212,1	m3
Presion	Sin restriccion	20	bar
Diametro	Diametro > 0	3	m
Espesor	Espesor > 0	0,05	m
Material	ACERO INOXIDABLE ▾		

Año de cotización 2001

Costo del Equipo (EXW) USD\$ 8.498.998

Añadir a la lista de compras

Lista de Compras de equipos

Cantidad	Características	Costo unitario
----------	-----------------	----------------

Con los resultados hallados, se calculó el porcentaje de error del método de Guthrie del PECE respecto al de la literatura, en cada uno de los ejercicios evaluados. Tales porcentajes se consignaron en la tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de error Guthrie PECE vs Guthrie original

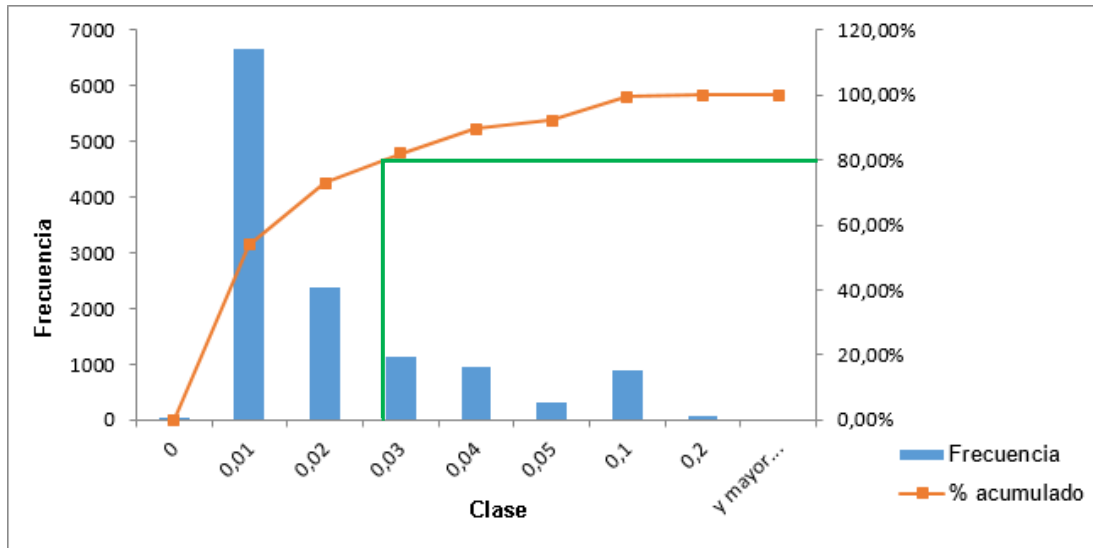
Ejercicio	Costo Guthrie PECE [\$USD]	Costo Guthrie literatura [\$USD]	Porcentaje de Error [%]
1	83.329	83.328,95	0,00006
2	8'498.998	8'498.353,73	0,00758

Como se evidencia en la tabla anterior, los porcentajes de error no son estadísticamente significativos para ninguno de los ejercicios, puesto que poseen un valor muy cercano a 0. Esto era de esperarse debido a que la implementación del método de Guthrie en el PECE, se hizo programando las ecuaciones y tablas de manera equivalente. La diferencia de los costos entre los métodos, se debe a los efectos de aproximación y de percepción visual de los datos extraídos de las gráficas del *Fm* cuando se realiza el cálculo mediante el método original.

3.3.2. Método de Matche. La exactitud del método de Matche implementado en el PECE se evaluó teniendo los 12.361 ensayos que se realizaron para efectuar su modelamiento. Se usaron entonces, las propiedades del equipo pertinentes a cada ensayo para calcular el costo del equipo mediante el método de Matche en PECE.

Una vez obtenidos los costos por cada ensayo, estos se compararon hallando el porcentaje de error de cada uno respecto a los valores obtenidos del Matche original. De la lista de errores se estableció que el error mínimo que se reporta es igual a 0,00%, mientras que el error máximo encontrado es de 11.15%. Con los datos mencionados, se establecieron clases, para graficar un histograma de frecuencias.

Figura 5. Histograma de frecuencias de error de Matche PECE vs Matche Original



En la anterior figura se puede observar que el 80% de los errores se encuentran por debajo del 3% y que entre los ensayos evaluados el 53,78% de los errores se encuentran entre 0 y 1%.

Se reportó también el error promedio de la implementación de cada equipo del Matche en el PECE (Ver tabla 4). Con el fin de definir un error global de la implementación del método de Matche en el PECE, se calculó la media del total de los errores, la cual dio como resultado 1.68%.

Tabla 4. Errores promedio por equipo y error global del método.

Equipo	Error promedio [%]
Compresores	0,74
Filtros	0,61
Reactores	1,37
Recipientes de procesos	1,06
Tanques	1,62
Ventiladores	1,46
Intercambiadores de calor	0,00
Calentadores	1,05
% Error promedio del Matche original VS Matche PECE	1,68

Por consiguiente, es evidente que el modelamiento del Matche en la herramienta es bastante exacto, ya que los costos calculados mediante la misma no difieren en valores significativos respecto a los que se calculan en la interfaz en línea del Matche los errores reportados se encuentran en su mayoría entre el 1 y 3%.

3.4. COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS IMPLEMENTADOS EN EL PECE

Con el fin de observar la diferencia en los cálculos realizados por el método de Guthrie y Matche implementados en el PECE, se determinó el porcentaje de error para algunos equipos particulares con los que se es posible hacer el uso de ambos métodos. Los resultados de esta comparación se encuentran consignados en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de Matche PECE vs Guthrie PECE

Equipo	Error promedio [%]
Compresores	39
Tanques	22
Intercambiadores de calor	64

Los resultados de la Tabla 5 revelan que existe una gran diferencia entre ambos métodos, que también se evidencia de manera equivalente en la comparación de los métodos originales. Esto puede deberse a la incertidumbre que se genera al realizar estimaciones en el Matche en línea, donde se enuncia que los costos calculados por este método incluyen el factor de traslado de los equipos. Otra posible causa es la diferencia en la base de datos que se usó para el desarrollo de cada método; el método de Guthrie reporta cotizaciones realizadas en el año 2001, mientras que el Matche no reporta dicha información. En este trabajo se asumió que los costos de Matche están actualizados a 2014 dada la fecha de actualización reportada en la web.

La selección de cual método usar queda a criterio del usuario, aun así es importante resaltar las ventajas del método de Guthrie al ser usado en distintos proyectos de inversión y presentar un procedimiento definido estructuralmente mediante ecuaciones algebraicas y factores de corrección.

La implementación de ambos métodos en una herramienta informática ofrece la ventaja de realizar análisis estadísticos en los que se requieren muchas iteraciones. Por ejemplo, un análisis Montecarlo que requiera de 2000 iteraciones podría tardar en realizarse un tiempo de muchas horas/hombre, mientras que mediante el PECE se lograría hacer en tan sólo segundos.

4. CONCLUSIONES

La implementación de la herramienta informática PECE, es bastante útil debido a la rapidez con la que se pueden efectuar los cálculos y a la disponibilidad de las cotizaciones que se pueden realizar, de acuerdo a las propiedades del equipo y al tiempo en el que se desee realizar dicha cotización. La inclusión de botones de selección, listas desplegables y demás controles interactivos, permite que la interfaz de la herramienta sea sencilla, de fácil uso y rápida ejecución.

El aumento en el número de datos usados para la parametrización del método de Matche en el PECE fue de suma importancia, ya que incrementó la exactitud de la herramienta disminuyendo errores reportados de hasta más de 1042% a tan sólo 3%. A esto se le suma el porcentaje de error de 0% que presenta la implementación del método de Guthrie en el PECE. En consecuencia, PECE cumple con el objetivo de modelar con una buena exactitud dos métodos de estimación de costos, otorgando la confiabilidad necesaria para su uso en la evaluación del capital de inversión en el desarrollo de plantas de procesos químicos.

Fue acertada la idea de utilizar la ecuación del cálculo del costo base del método de Guthrie para modelar e implementar el método Matche en el PECE. En general los resultados fueron muy favorables, ya que se obtuvieron resultados muy aproximados a los reportados por la página web.

5. RECOMENDACIONES

Pese a que en la elaboración de la herramienta PECE y en la evaluación de la misma se tuvieron en cuenta varias consideraciones importantes, es posible incluir otras, en base a esto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Implementar otros métodos de estimación de costos, en los que se incluyan equipos que no estén presentes en los ya implementados, con el fin de proporcionar al usuario otras opciones de cálculo y ampliar el inventario de equipos en la herramienta.
- Comparar los resultados obtenidos mediante el uso del PECE, con cotizaciones reales actualizadas, para determinar la exactitud de la misma respecto a los valores comerciales.
- Integrar con la herramienta, un mapa global en línea que calcule la distancia de la ruta de transporte deseada, con el fin de incluir el efecto de traslado.

REFERENCIAS

- [1]. JIMÉNEZ, A. Diseño de procesos en Ingeniería Química. 1 ed. México: Editorial Reverté, S.A., 2003. p. 2
- [2]. TURTON, R., BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 4 ed. Estados Unidos: Pearson Education, 2013. p.117
- [3]. PIKULIK, A., DÍAZ, H.E. Cost estimating for major process equipmnet. *Chemical Engineering.*, Oct. 10, 1977.p.107
- [4]. ESQUIVEL, E. Evaluación Económica Preliminar de Plantas Químicas Usando Aspen Icarus Process Evaluator 2004.2, México, 2007. Trabajo de grado (Licenciado en Ingeniería Química). Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.
- [5]. GUTHRIE, K. Data and Techniques for Preliminary Capital Cost Estimating. *Chemical Engineering*, Marzo 24, 1969, p. 114-142.
- [6]. MATCHES. Home page [En línea]. < www.matche.com/equipcost/Default.html> [Citado en 13 de Octubre de 2014]
- [7]. GUTHRIE, K. Process Plant Estimating Evaluation and Control. Solana Beach, [CA], Estados Unidos: Craftsman Book Co., 1974.
- [8]. ULRICH, G. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. Nueva York, Estados Unidos: Wiley, 1984.

[9]. TURTON, R. BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 3 ed. Estados Unidos: Pearson Education, 2002. (Apéndice A).

[10]. ASME Section VIII. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME. Nueva York, Estados Unidos, 2000.

[11]. PETERS, M. TIMMERHAUS, K. Plant Design and Economics for chemical engineers. 4 ed. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1991. p. 180-192.

[12]. NAVARRETE, P. Planning, Estimating, and Control of Chemical Construction Projects. 2 ed. Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 2001. p. 106-115.

[13]. MATCHES. Home page [En línea]. < www.matche.com > [Citado en 13 de Octubre de 2014].

[14]. MIGNARD, D. Correlating the chemical engineering plant cost index with macro-economics indicators. Chem. Eng. Res. Des (2013).

[15]. TURTON, R. BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 3 ed. Estados Unidos: Pearson Education, 2002. (Capítulo 5).

BIBLIOGRAFÍA

ASME Section VIII. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME. Nueva York, Estados Unidos, 2000.

ESQUIVEL, E. Evaluación Económica Preliminar de Plantas Químicas Usando Aspen Icarus Process Evaluator 2004.2, México, 2007. Trabajo de grado (Licenciado en Ingeniería Química). Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.

GUTHRIE, K. Data and Techniques for Preliminary Capital Cost Estimating. *Chemical Engineering*, Marzo 24, 1969, p. 114-142.

GUTHRIE, K. Process Plant Estimating Evaluation and Control. Solana Beach, [CA], Estados Unidos: Craftsman Book Co., 1974.

JIMÉNEZ, A. Diseño de procesos en Ingeniería Química. 1 ed. México: Editorial Reverté, S.A., 2003. p. 2

MATCHES. Home page [En línea]. < www.matche.com > [Citado en 13 de Octubre de 2014].

MATCHES. Home page [En línea]. < www.matche.com/equipcost/Default.html> [Citado en 13 de Octubre de 2014]

MIGNARD, D. Correlating the chemical engineering plant cost index with macro-economics indicators. *Chem. Eng. Res. Des* (2013).

NAVARRETE, P. Planning, Estimating, and Control of Chemical Construction Projects. 2 ed. Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 2001. p. 106-115.

PETERS, M. TIMMERHAUS, K. Plant Design and Economics for chemical engineers. 4 ed. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1991. p. 180-192.

PIKULIK, A., DÍAZ, H.E. Cost estimating for major process equipmnet. *Chemical Engineering.*, Oct. 10, 1977.p.107

TURTON, R. BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 3 ed. Estados Unidos: Pearson Education, 2002. (Apéndice A).

TURTON, R. BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 3 ed. Estados Unidos: Pearson Education, 2002. (Capítulo 5).

TURTON, R., BAILIE, R.C., WHITING, W.B., SHAEIWITZ, J.A. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 4 ed. Estados Unidos: Pearson Eduaction, 2013. p.117

ULRICH, G. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. Nueva York, Estados Unidos: Wiley, 1984.

ANEXOS

Anexo A. Ejemplos detallados de la aplicación del método de Guthrie

Ejemplo 1

Calcular el C_{BM} en el 2001 de un intercambiador de calor de carcasa y tubo y cabeza flotante, con un área de transferencia de calor de 100m^2 . La presión de operación del equipo es 1 bar, con ambos lados de la carcasa y tubo construidos en acero al carbón.

Solución

El C_{BM} de un intercambiador de calor está dado por la siguiente ecuación:

$$C_{BM} = Cp^0[B_1 + B_2F_pF_M]$$

Por consiguiente, se deben determinar las variables de la siguiente manera:

1. Cálculo del Cp^0 a partir de

$$\log_{10} Cp^0 = K_1 + K_2 \log_{10}(A) + K_3 [\log_{10}(A)]^2$$

Para esto, se determinan las constantes K_1 , K_2 y K_3 a partir de la tabla A.1 [9] en el inciso “intercambiadores de calor de cabeza flotante”, verificando que el parámetro de tamaño o capacidad del equipo (A) se encuentra en el rango que presenta esta tabla. En este caso, A es el área de transferencia de calor y $K_1=4,8306$; $K_2=-0,8509$ y $K_3=0,3187$.

Reemplazando se obtiene

$$\log_{10} Cp^0 = 4,8306 - 0,8509 \log_{10}(100) + 0,3187[\log_{10}(100)]^2$$

Dando como resultado

$$C_p^0 = \mathbf{\$25.327,95}$$

2. Determinación del F_p a partir de

$$\log_{10} F_p = C_1 + C_2 \log_{10}(P) + C_3[\log_{10}(P)]^2$$

Se leen las constantes C_1 , C_2 y C_3 a partir de la tabla A.2 [9] en el inciso “intercambiadores de calor de cabeza flotante”, para presiones menores a 5 bares. De aquí $C_1=0$, $C_2=0$ y $C_3=0$. De igual forma, se reemplaza y se obtiene $F_p = 1$.

3. Determinación del F_M

A partir de la tabla A.3 se extrae el número de identificación que corresponde a intercambiadores de calor de carcasa y tubos, cuyo material de construcción es acero al carbón. Para este caso sería 1, que según la Figura A.8 [9] corresponde a $F_M = 1$.

4. Las constantes B_1 y B_2 para intercambiadores de calor de cabeza flotante se toman de la tabla A.4 [9], siendo $B_1 = 1,63$ y $B_2 = 1,66$.

5. Sustituyendo todos los datos en la ecuación inicial, se halla finalmente el

$$C_{BM} = Cp^0[B_1 + B_2 F_p F_M] = (\$25.327,95)[1,63 + 1,66(1)(1)] = \mathbf{\$83.328,95}$$

Ejemplo 2

Calcular el C_{BM} en el 2001 de una torre de platos de acero inoxidable de 3m de diámetro, 0,05 m de espesor y 30m de altura que opera a 20 bares de presión.

Solución

El C_{BM} está dado por la siguiente ecuación:

$$C_{BM} = Cp^0 [B_1 + B_2 F_p F_M]$$

Por lo tanto, se deben determinar las variables de la siguiente manera:

1. Cálculo de Cp^0 a partir de

$$\log_{10} Cp^0 = K_1 + K_2 \log_{10}(A) + K_3 [\log_{10}(A)]^2$$

Para esto se determinan las constantes K_1 , K_2 y K_3 a partir de la tabla A.1 en el inciso "torres", verificando que el parámetro de tamaño del equipo (A) se encuentre en el rango que presenta esta tabla. En este caso, A es el volumen de la torre.

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} = \frac{\pi (3)^2 (30)}{4} = 212,1 m^3$$

Los valores leídos de las constantes son: $K_1=3,4974$; $K_2=0,4485$ y $K_3=0,1074$. Reemplazando se obtiene:

$$\log_{10} Cp^0 = 3,4974 + 0,4485 \log_{10}(212,1) + 0,1074 [\log_{10}(212,1)]^2$$

$$C_p^\circ = \$132.491,28.$$

2. Determinación del F_p a partir de

$$F_P = \frac{\frac{(P + 1)D}{2[850 - 0,6(P + 1)]} + 0,00315}{0,0063}$$

Para una presión de 20 bares y un diámetro de 3m se tiene:

$$F_P = \frac{\frac{(20 + 1)3}{2[850 - 0,6(20 + 1)]} + 0,0315}{0,0063} = \mathbf{10,97}$$

3. Determinación del F_M

A partir de la tabla A.3, se determina el número de identificación que corresponde a recipientes de proceso verticales cuyo material de construcción es acero inoxidable. Para este caso sería 20, que según la Figura A.8 [9] corresponde a $F_M = 3,11$.

4. Las constantes B_1 y B_2 para recipientes de proceso verticales se toman de la tabla A.4 [9], siendo $B_1 = 2,25$ y $B_2 = 1,82$.

6. Sustituyendo todos los datos en la ecuación inicial, se halla finalmente el

C_{BM} :

$$C_{BM} = Cp^0[B_1 + B_2F_P F_M] = (\$132.491,28)[2,25 + 1,82(10,97)(3,11)]$$

$$=\mathbf{\$8'498.353,73}$$

Anexo B. Ejemplo detallado del uso de la interfaz en línea de Matche.

1. Ingresar en el navegador esta dirección web

Matches

office (405) 340-2673
fax (866) 893-3035
toll-free (800) 525-6277

Home | About | News | Products | Services | Calendar | Contact

Matches provides conceptual process, cost and optimization engineering services to the chemical and metallurgical industry. This educational content should assist you in the evaluation of process alternatives. We hope you will comment (below).

Matches' Process Equipment Cost Estimates

Matches provides conceptual (order-of-magnitude) process equipment cost estimates for over 275 types of equipment used in the chemical and metallurgical industry. We provide this educational process equipment cost information to help you establish project scope in evaluation of process alternatives. This is active content written in Javascript that runs on your internet browser. To access this content you may have to alter your browser security settings.

Cost Estimates - Click on the type of process equipment for which you desire a capital cost. Your browser must interpret JavaScript for you to obtain an estimate. An estimated costs is helpful during a project's early phase of development and budgeting. The actual cost of a piece of equipment depend upon many factors. You should exercise caution in use of this educational content.

Cost Information Exchange

Have you recently purchased process equipment? If you would like to share process equipment cost, just follow the link below. When we update the cost pages we will consider placing the information you and others provide on Matche's website. Click here to go to [Shared Equipment Cost](#) form.

Equipment Type

- Agglomerator
- Agitator
- Bin
- Blender
- Blower
- Boiler
- Centrifuge
- Classifier
- Compressor
- Conveyor
- Cooling
- Crystallizer
- Dryers
- Dust Collector
- Ejector
- Elevator
- Exchanger, Heat
- Fan
- Filter
- Fired Heater
- Incinerator
- Material Handling
- Pump - Centrifugal
- Pump - Positive Displacement
- Pump - Vacuum
- **Reactor**
- Screen
- Scrubber
- Separator
- Size Reduction
- Tank
- Vessel
- Index
- References
- Equipment Cost Home

Home | About | Calendar | Contact | Affiliates | Equipment Cost | FAQ | Information Links | News | Photo Gallery | Press | Products | Promotions | Services | Site Map
Copyright © 2014 Matche, All Rights Reserved.

2. Seleccionar equipo

www.matche.com/equipcost/Reactor.html

Matches

office (405) 340-2673
fax (866) 893-3035
toll-free (800) 525-6277

Home | About | News | Products | Services | Calendar | Contact

Matches provides conceptual process, cost and optimization engineering services to the chemical and metallurgical industry. This educational content should assist you in the evaluation of process alternatives. We hope you will comment (below).

Reactor Cost Estimate - An interactive JavaScript equipment capital cost estimating aid (order-of-magnitude). These costs are helpful during a project's early development and budgeting. The actual cost of a piece of equipment depend upon many factors. You should exercise caution in use of this educational content.

Reactor Type: Jacketed & Agitated *Selección de tipo de equipo

Reactor Volume : 4000 gallons *Capacidad del equipo

Material: Carbon Steel *Selección del material

Internal Pressure: Atmospheric to 25 psi *Ajuste en presión de operación

Click

Cost 2014 US \$: **78300** *Costo estimado

F.O.B. Gulf Coast U.S.A.

Cost Information Exchange

Have you recently purchased process equipment? If you would like to share process equipment cost, just follow the link below. When we update the cost pages we will consider placing the information you and others provide on Matche's website. Click here to go to [Shared Equipment Cost](#) form.

Equipment Type

- Agglomerator
- Agitator
- Bin
- Blender
- Blower
- Boiler
- Centrifuge
- Classifier
- Compressor
- Conveyor
- Cooling
- Crystallizer
- Dryers
- Dust Collector
- Ejector
- Elevator
- Exchanger, Heat
- Fan
- Filter
- Fired Heater
- Incinerator
- Material Handling
- Pump - Centrifugal
- Pump - Positive Displacement
- Pump - Vacuum
- Reactor
- Screen
- Scrubber
- Separator
- Size Reduction
- Tank
- Vessel
- Index
- References
- Equipment Cost Home

Home | About | Calendar | Contact | Affiliates | Equipment Cost | FAQ | Information Links | News | Photo Gallery | Press | Products | Promotions | Services | Site Map
Copyright © 2014 Matche, All Rights Reserved.

Anexo C. Lista de equipos implementados en PECE

Equipo (Equipment)	Tipo de equipo (Equipment Type)
Bombas (Pumps)	Centrifuga (Centrifugal)
Bombas (Pumps)	Desplazamiento positivo (Positive displacement)
Bombas (Pumps)	Reciprocante (Reciprocating)
Calentadores (Fired Heaters)	Caja (Box)
Calentadores (Fired Heaters)	Cilindrico (Cylindrical)
Calentadores (Fired Heaters)	Dowtherm (Dowtherm)
Compresores (Compressors)	Aire Centrifugo (Centrifugal Air)
Compresores (Compressors)	Aire Reciprocante (Reciprocating Air)
Compresores (Compressors)	Axial (Axial)
Compresores (Compressors)	Centrifugo (Centrifugal)
Compresores (Compressors)	Giratorio (Rotary)
Compresores (Compressors)	Reciprocante (Reciprocating)
Compresores (Compressors)	Tornillo (Screw)
Evaporadores (Evaporators)	Circulacion forzada (Forced circulation)
Evaporadores (Evaporators)	Pelicula agitada (Agitated film)
Evaporadores (Evaporators)	Pelicula descendente (Falling film)
Evaporadores (Evaporators)	Tubo corto (Short tube)

Evaporadores (Evaporators)	Tubo largo (Long tube)
Filtros (Filters)	Cartucho (Cartridge)
Filtros (Filters)	Correa (Belt)
Filtros (Filters)	Disco (Disc)
Filtros (Filters)	Placa y bastidor (Plate and frame)
Filtros (Filters)	Tambor (Drum)
Hornos (Furnaces)	Fuego directo (Fired heater)
Hornos (Furnaces)	Pirolitico (Pyrolysis)
Hornos (Furnaces)	Reformador (Reformer)
Impulsores (Drives)	Motor de Combustion interna (Internal combustion)
Impulsores (Drives)	Turbina (Turbine)
Impulsores (Drives)	Turbina a vapor (Steam Turbine)
Impulsores electricos (Electric Drives)	A prueba de explosion (Explosion proof)
Impulsores electricos (Electric Drives)	A prueba de goteo (Drip proof)
Impulsores electricos (Electric Drives)	Totalmente cerrados (Totally enclosed)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Aire refrigerante (Air cooler)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Cabeza flotante (Floating head)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Pared rustica (Scraped wall)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Plato espiral (Spiral plate)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Plato plano (Flat plate)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Rehervidor (Kettle reboiler)

Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Serpentin (Espiral tube)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Tuberia doble (Double pipe)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Tuberia multiple (Multiple pipe)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Tubo fijo (Fixed tube)
Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)	Tubo U (U tube)
Platos (Trays)	Demisters (Demisters)
Platos (Trays)	Perforados (Sieve)
Platos (Trays)	Valvula (Valve)
Reactores (Reactors)	Autoclave (Autoclave)
Reactores (Reactors)	Celda electrolitica (Electrowinning cell)
Reactores (Reactors)	Enchaquetado y agitado (Jacketed and Agitated)
Reactores (Reactors)	Enchaquetado y no agitado (Jacketed and Non Agitated)
Reactores (Reactors)	Tanque de inculo (Inoculum tank)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Horizontal (Horizontal)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Horizontal No Interno Grande (Horizontal No Internal Large)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Horizontal No Interno Medio (Horizontal No Internal Medium)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Vertical (Vertical)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Columna Vertical No Interno Grande (Vertical Column No Internal Large)
Recipientes de procesos (Process Vessels)	Columna Vertical No Interno Medio (Vertical Column No Internal Medium)
Tanques (Tanks)	API Techo fijo (API Fixed roof)
Tanques (Tanks)	API Techo flotante (API Floating roof)

Torres (Towers)	Empacadas (Packed)
Torres (Towers)	Platos (Trays)
Turbinas (Turbines)	Gas axial (Axial gas turbines)
Turbinas (Turbines)	Gas Radial (Radial Gas)
Vaporizadores (Vaporizers)	Recipiente enchaquetado (Jacketed vessels)
Vaporizadores (Vaporizers)	Serpentin interno (Internal coil)
Ventiladores (Fans)	Centrifugo radial (Centrifugal radial)
Ventiladores (Fans)	Curvado hacia atrás (Backward curve)
Ventiladores (Fans)	Aleta axial (Axial vane)
Ventiladores (Fans)	Tubo axial (Axial tube)

Anexo E. Encuesta

1. Cómo considera el desempeño de la herramienta PECE? *

	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Facilidad de uso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Velocidad de cálculo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Versatilidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisión y Exactitud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Considera suficiente la lista de equipos proporcionados por PECE para la realización de la estimación de costos de equipos? *

- SI
- NO
- Parcialmente

3. Qué dificultades encontró al utilizar la herramienta PECE? *

- Demora en el tiempo de cálculo
- Pocas unidades dimensionales
- Poca amigabilidad de la herramienta
- No se encuentra el equipo a cotizar
- No reporta el origen de las fallas cuando el programa presenta errores
- No se encuentran las características de los equipos a cotizar
- No encuentre ninguna dificultad
- Otro:

4. Considera que les sería de utilidad la herramienta PECE en la asignatura "Análisis de Procesos" ? *

- Mucho
- Parcialmente
- Poco
- Nada

5. Consideraría utilizar la herramienta PECE para la estimación de costos de equipos en su vida laboral? *

- SI
- NO

SUGERENCIAS *

Anexo F. Ejemplo de uso y tutorial del PECE

1. Abrir el archivo PECE 1.0.xlsm del software y habilitar los macros. Se observará la siguiente interfaz. Las celdas con flechas son desplegables y las celdas de color blanco son modificables.

	A	B	C	D
1	PECE 1.0			
2	(Process Equipment Cost Estimation)			
3	Equipo	Torres (Towers) ▼		
4				
5	Tipo	Platos (Trays) ▼		
6				
7	Método	<input checked="" type="radio"/> Guthrie	<input type="radio"/> Matche	
8	Características del equipo			
9	Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
13	Volumen	0,30 a 520 m3	10	m3
16	Presion	Sin restriccion	1	bar
17	Diametro	Diametro > 0	3	m
18	Espesor	Espesor > 0	1	m
19	Material	ACERO AL CARBON		
21	Año de cotización			2006
23	Costo del Equipo (EXW)			USD\$ 177.216
24				
25	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Añadir a la lista de compras</div>			
26				
27				
29	Lista de Compras de equipos			
30	Cantidad	Características	Costo unitario	
31				
32				
33	Borrar equipo de la lista	TOTAL =	USD\$	-

2. Seleccionar equipo

PECE 1.0			
(Process Equipment Cost Estimation)			
Equipo	Torres (Towers)		
Tipo	Evaporadores (Evaporators) Filtros (Filters) Hornos (Furnaces) Impulsores (Drives) Impulsores electricos (Electric Drives) Intercambiadores de calor (Heat Exchangers) Platos (Trays) Reactores (Reactors)		
Característica	Reactores (Reactors)		
Volumen	0,30 a 520 m3	10	m3
Presion	Sin restriccion	1	bar
Diametro	Diametro > 0	3	m
Espesor	Espesor > 0	1	m
Material	ACERO AL CARBON		
Año de cotización			2006
Costo del Equipo (EXW)			USDS 177.216
<input type="button" value="Añadir a la lista de compras"/>			
Lista de Compras de equipos			
Cantidad	Características	Costo unitario	
<input type="button" value="Borrar equipo de la lista"/>			
TOTAL =			USDS -

3. Seleccionar tipo de equipo

PECE 1.0			
(Process Equipment Cost Estimation)			
Equipo	Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)		
Tipo	Aire refrigerante (Air cooler)		
Método	Aire refrigerante (Air cooler) Cabeza flotante (Floating head) Pared rustica (Scraped wall) Plato espiral (Spiral plate) Plato plano (Flat plate)		
Característica	Rehervidor (Kettle reboiler)		
Area	Serpentin (Espiral tube)		
Presion	Tuberia doble (Double pipe)		
Material	ACERO AL CARBON		
Año de cotización			2001
Costo del Equipo (EXW)			USDS 108.908
<input type="button" value="Añadir a la lista de compras"/>			
Lista de Compras de equipos			
Cantidad	Características	Costo unitario	
<input type="button" value="Borrar equipo de la lista"/>			
TOTAL =			USDS -

4. Una vez seleccionado el equipo y el tipo de equipo aparecerán las características del equipo con el fin de modificarlas de acuerdo a las necesidades del usuario y sus respectivas restricciones.

The screenshot shows the PECE (Process Equipment Cost Estimation) software interface. The main window displays the following information:

- Equipo:** Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)
- Tipo:** Cabeza flotante (Floating head)
- Método:** Guthrie
- Características del equipo:**

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Area	10 a 1.000 m2	100	m2
Presion	0 a 140 bar	1	bar
Material	CS-CARCAZA/CS-TUBO		
- Año de cotización:** 2006
- Costo del Equipo (EXW):** USD\$ 105.582

A dropdown menu for the material selection is open, showing a list of options including CS-CARCAZA/CS-TUBO, CS-CARCAZA/COBRE-TUBO, COBRE-CARCAZA/COBRE-TUBO, CS-CARCAZA/SS-TUBO, SS-CARCAZA/SS-TUBO, CS-CARCAZA/ALEACION NIQUEL-TUBO, ALEACION NIQUEL-CARCAZA/ALEACION NIQUEL-TUBO, and CS-CARCAZA/TITANIO-TUBO.

5. Una vez modificadas y seleccionadas las propiedades se procede a ingresar el año requerido de la cotización, se observara el costo del equipo en la respectiva casilla.

The screenshot shows the PECE software interface after the quotation year has been updated to 2014. The main window displays the following information:

- Equipo:** Intercambiadores de calor (Heat Exchangers)
- Tipo:** Cabeza flotante (Floating head)
- Método:** Guthrie
- Características del equipo:**

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Area	10 a 1.000 m2	100	m2
Presion	0 a 140 bar	1	bar
Material	CS-CARCAZA/CS-TUBO		
- Año de cotización:** 2014
- Costo del Equipo (EXW):** USD\$ 121.496

6. Si se presiona la casilla “Añadir a la lista de compras”, se añadirá el equipo a lista de la parte inferior y se podrá seguir cotizando sin perder los datos. Además más abajo se totalizará el valor de los equipos cotizados, también se podrá modificar en la casilla “Cantidad” la cantidad de unidades requeridas de cada equipo.

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Area	10 a 1.000 m2	100	m2
Presion	0 a 140 bar	1	bar
Material	CS-CARCAZA/CS-TUBO		

Cantidad	Características	Costo unitario
1	"INTERCAMBIADORES DE CALOR"	\$121.496

Borrar equipo de la lista	TOTAL =	USDS	121.496
---------------------------	---------	------	---------

Se puede seguir agregando equipos cotizados y observar el valor total en la parte inferior.

Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
Volumen	0,30 a 520 m3	10	m3
Presion	Sin restriccion	1	bar
Diametro	Diametro > 0	3	m
Espesor	Espesor > 0	1	m
Material	ACERO INOXIDABLE		

Año de cotización	2014
-------------------	------

Costo del Equipo (EXW)	USDS	554.282
------------------------	------	---------

Cantidad	Características	Costo unitario
2	"INTERCAMBIADORES DE CALC	\$121.496
1	"RECIPIENTES DE PROCESOS",	\$554.282

Borrar equipo de la lista	TOTAL =	USDS	797.274
---------------------------	---------	------	---------

A continuación se muestra un ejemplo donde se cotizan diferentes equipos y se calcula el valor total de ellos.

	A	B	C	D
1	PECE 1.0			
2	(Process Equipment Cost Estimation)			
3	Equipo	Bombas (Pumps) ▼		
4				
5	Tipo	Centrifuga (Centrifugal) ▼		
6				
7	Método	<input checked="" type="radio"/> Guthrie <input type="radio"/> Matche		
8	Características del equipo			
9	Característica	Rango de validez	Valor	Unidades
10	Potencia	1.000 a 300.000 W	2.500 W	
16	Presion	0 a 100 bar	1 bar	
19	Material	ALEACION NIQUEL ▼		
21	Año de cotización			2014
23	Costo del Equipo (EXW)			USD\$ 31.075
24	<div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px; display: inline-block;">Añadir a la lista de compras</div>			
25				
26	Lista de Compras de equipos			
27				
30	Cantidad	Características	Costo unitario	
31	2	"INTERCAMBIADORES DE CALC	\$121.496	
32	1	"RECIPIENTES DE PROCESOS",	\$554.282	
33	1	"TURBINAS", "GAS AXIAL", "Gu	\$124.367	
34	1	"IMPULSORES", "TURBINA", "G	\$4.750.062	
35	1	"BOMBAS", "CENTRIFUGA", "G	\$31.075	
36				
37				
38	Borrar equipo de la lista		TOTAL =	USD\$ 5.702.779
39				

- Si se desea eliminar un equipo de la lista, sólo basta sombrear la fila del equipo y dar click sobre el botón "Borrar equipo de la lista"

Anexo G. Resultados de la encuesta

¿Cómo considera el desempeño de la herramienta PECE?				
	Facilidad de uso	Velocidad de cálculo	Versatilidad	Precisión y exactitud
Muy Malo	0%	0%	0%	0%
Malo	0%	0%	3%	0%
Regular	12%	12%	26%	12%
Bueno	38%	41%	68%	38%
Muy bueno	50%	47%	3%	50%
¿Considera suficiente la lista de equipos proporcionados por pece para la realización de la estimación de costos de equipos?				
Si	0%			
No	47%			
Parcialmente	53%			
¿Qué dificultades encontró al utilizar la herramienta PECE?				
Demora en el tiempo de cálculo	0%			
Pocas unidades dimensionales	3%			
Poca amigabilidad de la herramienta	8%			
No se encuentra el equipo a cotizar	58%			
No se reporta el origen de las fallas cuando el programa presenta errores	8%			
No se encuentran las características del equipo a cotizar	16%			
No encontré ninguna dificultad	3%			
Otro	5%			
¿Considera que les sería de utilidad la herramienta PECE en la asignatura "Análisis de Procesos?"				
Nada	0%			
Poco	3%			
Parcialmente	50%			
Mucho	47%			
¿Consideraría utilizar la herramienta PECE para la estimación de costos de equipos en su				

vida laboral?	
Si	35%
No	65%
Sugerencias	
Demora en el tiempo de carga	4%
Incluir más equipos	38%
Ampliar rango de equipos	19%
Perfeccionar la herramienta	15%
Incluir más materiales	8%
Adicionar otros métodos	8%
Analizar el porcentaje de error	8%