



UNIVERSIDAD DE CHILE  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS**  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

## Diseño e implementación de software educativo para la selección de bombas de desplazamiento positivo en Ingeniería en Alimentos

---

### **PATROCINANTE:**

#### **Profesor Luis Puente D.**

Ingeniero en Alimentos (UTEM).  
Doctor en Tecnología de Alimentos (UPV)  
Dpto. Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.

### **DIRECTORES:**

#### **Profesor Luis Puente D.**

Ingeniero en Alimentos (UTEM).  
Doctor en Tecnología de Alimentos (UPV)  
Dpto. Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.

#### **Profesor Roberto Lemus M.**

Ingeniero en Alimentos (ULS).  
Magíster en Ciencias mención Ing. en Alimentos (ULS).  
Doctor en Cs. de la Ingeniería, mención en Ing. de Procesos (USACH).  
Dpto. Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.

**Jorge Alejandro Navarro Díaz**  
**Provisional v.8.0 DE MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE**  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Santiago – Chile      junio de 2019

## Agradecimientos

- A mi familia por el apoyo incondicional en cada uno de mis años de estudios.
- A los profesores Luis Puente, Roberto Lemus y Eduardo Castro, por acompañar y enseñar más allá de lo académico, por la paciencia y la disponibilidad siempre grata.
- A mis amigos y compañeros de clase por siempre estar presentes, aconsejar y animarme a dar lo mejor.

## Índice de contenido

Agradecimientos .....	ii
Índice de Ilustraciones .....	vi
Índice de tablas.....	viii
Índice de ecuaciones .....	ix
Nomenclatura y abreviaciones.....	x
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción .....	1
CAPÍTULO 1	
<u>1.1</u> Planteamiento del problema .....	4
<u>1.2</u> Hipótesis .....	4
<u>1.3</u> Objetivos .....	5
<u>1.3.1</u> Objetivos generales .....	5
<u>1.3.2</u> Objetivos específicos.....	5
<u>1.4</u> Marco teórico .....	6
<u>1.4.1</u> Bombas hidráulicas .....	6
<u>1.4.2</u> Bombas de desplazamiento positivo .....	6
<u>1.4.3</u> Hidráulica.....	10
<u>1.4.3.1</u> Esfuerzo de corte .....	10
<u>1.4.3.2</u> Velocidad de deformación .....	10
<u>1.4.3.3</u> Viscosidad .....	11
<u>1.4.3.4</u> Fluidos Newtonianos .....	12
<u>1.4.3.5</u> Fluidos no Newtonianos .....	14

<u>1.4.3.6</u> Plástico ideal o de Bingham .....	14
<u>1.4.3.7</u> Plástico real.....	15
<u>1.4.3.8</u> Fluidos Pseudoplásticos.....	15
<u>1.4.3.9</u> Fluidos Dilatantes .....	16
<u>1.4.3.10</u> Fluidos tixotrópicos.....	18
<u>1.4.3.11</u> Fluidos Reopéticos .....	18
<u>1.4.3.12</u> Fricción.....	19
<u>1.4.4</u> Secuencia de cálculo de elección de bomba de desplazamiento positivo .....	22
<u>1.4.5</u> Página Web .....	24
<u>1.4.6</u> Hosting .....	26
<u>1.4.7</u> DNS .....	26
<u>1.4.8</u> Joomla .....	27

## CAPÍTULO 2

<u>2.1</u> Desarrollo.....	29
<u>2.1.1</u> Tratamiento de datos desde los gráficos de manual Waukesha .....	29
<u>2.1.2</u> Generación de software.....	35
<u>2.1.3</u> Clases, objetos y Métodos de Softkesha .....	38
<u>2.1.4</u> Disponibilidad de Softkesha a los usuarios .....	39
<u>2.1.5</u> Pruebas con usuario final .....	40

## CAPÍTULO 3

<u>3.1</u> Resultados y Discusiones.....	44
<u>3.1.1</u> Interfaz gráfica del software .....	44
<u>3.1.2</u> Clases y objetos .....	46
<u>3.1.3</u> Página web para disponibilidad al usuario .....	47
<u>3.1.4</u> Tiempos de cálculo.....	50

<u>3.1.5</u> Errores.....	52
<u>3.1.6</u> Evaluación Hedónica .....	55
<u>3.1.6.1</u> Respuestas predefinidas .....	55
<u>3.1.6.2</u> Respuestas libres .....	57

#### CAPÍTULO 4

Conclusiones .....	59
Bibliografía.....	xiv

## Índice de Ilustraciones

Figura 1	Diagrama de clasificación general de bombas de desplazamiento positivo.....	7
Figura 2	Ejemplos de bombas de desplazamiento positivo.....	8
Figura 3	Funcionamiento elemental de transferencia de energía.....	8
Figura 4	Bombas de pistones circunferenciales externos o ECP Waukesha Cherry-Burrell.....	9
Figura 5	Representación de esfuerzo de corte y deformación angular.....	11
Figura 6	Representación de fluidos no Newtonianos independientes del tiempo.....	13
Figura 7	Representación logarítmica de la ley de la potencia.....	17
Figura 8	Línea de operación para fluidos con viscosidades superiores a 200 CPS.....	30
Figura 9	Obtención de datos con GetData Graph Digitizer.....	31
Figura 10	Obtención y tabulación de pendientes con sus respectivos PSI.....	32
Figura 11	Generación de curva ajustada PSI vs m.....	33
Figura 12	Representación teórica de las nuevas rectas generadas de PSI para el gráfico RPM vs WHP.....	34
Figura 13	GUI Builder de NetBeans v8.8.2.....	35
Figura 14	Objetos utilizados en la interfaz de Softkesha.....	36
Figura 15	Representación de UML.....	39
Figura 16	Interfaz gráfica de Softkesha versión v2.60.....	44
Figura 17	Interfaz gráfica de Softkesha versión v5.21.....	45
Figura 18	Unidades utilizadas en los objetos Combobox.....	46
Figura 19	Página de bienvenida.....	48

Figura 20	Página de introducción sobre Softkesha.....	48
Figura 21	Página de descarga de archivo.....	49
Figura 22	Página de ejemplo de utilización de diagramas de bombas Waukesha.....	49
Figura 23	Gráfico Boxplot de los tiempos en minutos por sección.....	50
Figura 24	Porcentajes de errores por sección.....	54
Figura 25	Porcentajes de selección de respuestas hedónicas predefinidas.....	56

## Índice de tablas

Tabla 1	Datos de tiempos en minutos por sección.....	51
Tabla 2	Prueba T-student entre los tiempos de cálculo de las secciones 1 (manual) y 2 (software).....	52
Tabla 3	Tabulación de atributos en respuestas libres.....	57



## Índice de ecuaciones

Ecuación 1	Trabajo en términos de volumen.....	7
Ecuación 2	Esfuerzo de corte.....	10
Ecuación 3	Gradiente del perfil de velocidades (velocidad de deformación).....	10
Ecuación 4	Viscosidad.....	11
Ecuación 5	Viscosidad cinemática.....	12
Ecuación 6	Ley de viscosidad de Newton.....	12
Ecuación 7	Fluido plástico ideal o de Bingham .....	14
Ecuación 8	Fluido plástico ideal o de Bingham (ecuación 6 en 7)...	14
Ecuación 9	Ley potencial o de Ostwald.....	15
Ecuación 10	Coeficiente de viscosidad aparente.....	15
Ecuación 11	Coeficiente de viscosidad aparente (ecuación 9 en 10)	16
Ecuación 12	Ley de la potencia para Fluidos Dilatantes.....	16
Ecuación 13	Ley de la potencia para Fluidos Dilatantes en logaritmo	16
Ecuación 14	Viscosidad aparente en Fluidos Tixotrópicos.....	18
Ecuación 15	Ecuación de Manning.....	19
Ecuación 16	Ecuación de Darcy-Weisbach.....	20
Ecuación 17	Ecuación de Hazen-Williams.....	20
Ecuación 18	Ecuación de recta.....	30

## Nomenclatura y abreviaciones

### Informática

CMS	Content Management System, Sistema de gestión de contenido
CSS	Cascading Style Sheets, Hojas de estilo en cascada (lenguaje de diseño gráfico)
DNS	Domain Name System, Sistema de nombres de dominio
GUI	graphical user interface, Interfaz gráfica de usuario
HTML	HyperText Markup Language, lenguaje de marcas de hipertexto
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de transferencia de Hipertexto
Hypertext	Hipertexto
IDE	Integrated Development Environment, Entorno de desarrollo integrado
IP	Internet Protocol, Protocolo de internet
PHP	Hypertext Preprocessor, Preprocesador de hipertexto (Lenguaje de programación)
UML	Unified Modeling Language, Lenguaje unificado de modelamiento
URL	Uniform Resource Locator, Localizador de recursos uniforme
XHTML	eXtensible HyperText Markup Language, lenguaje de marcas de hipertexto extendido
WWW	World Wide Web, red mundial de redes de información

## Hidráulica

CPS	Centipoise (viscosidad)
ECP	Pistón externo circunferencial
HP	Caballo de fuerza (potencia)
NIPA	Presión neta disponible en entrada de bomba
NIRP	Presión neta requerida en entrada de bomba
PSI	libra por pulgada cuadrada (presión)
RPM	Revoluciones por minuto
VHP	Caballo de fuerza (viscosidad y fricción mecánica) (potencia)
WHP	Caballo de fuerza (condiciones externas) (potencia)

## Nomenclatura de fórmulas

A	Área
C	Coeficiente de rugosidad de tubería
D	Diámetro
dv	Diferencial de velocidad
dx	diferencial de distancia
dy	Diferencial de distancia
<i>f</i>	Factor de fricción de Darcy
g	Aceleración de gravedad
Hf	Pérdida de carga debida a fricción
K	Índice de consistencia
L	Longitud de tubería
$\eta$	Índice de flujo
P	Presión
Rh	Radio Hidráulico
S	Pendiente de línea de agua
V	Velocidad
W	Trabajo
$\mu$	Viscosidad
$\mu_o$	Viscosidad aparente
$\rho$	Densidad
$\sigma$	Esfuerzo de corte

$\tau$	Tensión tangencial
$T_0$	Tensión de fluencia
$\dot{\gamma}$	Velocidad de deformación

## Resumen

### Diseño e implementación de software educativo para la selección de bombas de desplazamiento positivo en Ingeniería en Alimentos

Se ha desarrollado un software con fines pedagógicos, basado en el lenguaje de programación JAVA, para la elección de Bombas de desplazamiento positivo Waukesha, con el propósito principal de disminuir el tiempo de cálculo de variables y de errores que se puedan cometer en dichos cálculos.

Este software está disponible para los usuarios en la página web [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com), página web que está diseñada en JOOMLA.

El software requiere de 15 variables, que el usuario debe ingresar, obteniendo una preselección de un modelo de bomba Waukesha. Si el modelo preseleccionado no supera los criterios de presión y torque, el usuario puede cambiar las magnitudes de las variables para seleccionar otro modelo.

Se realizó una validación de experiencia con usuarios finales, donde destaca entre los resultados la reducción significativa de tiempo de cálculo, la reducción de errores de cálculo (desde un 29% a un 7%) y la aceptabilidad hedónica del software con atributos como “Fácil de instalar”, “fácil de usar” y “rápido”, entre otros. Existen algunas mejoras propuestas, tales como la estética de la interfaz y manejo de errores de puntuación decimal en el ingreso de variables.

## Abstract

### Design and implementation of educational software for positive displacement pumps selection in Food Engineering

Software has been developed for pedagogical purposes, based on the JAVA programming language, for selection of Waukesha positive displacement pumps, with the main purpose of decreasing the time of variables calculation and errors that may be committed in those calculations.

This software is available to users on the website [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com), this web page is designed in JOOMLA.

The software requires 15 variables, which the user must enter, obtaining a preselection of a Waukesha pump model. If the preselected model fails the pressure and torque criteria, the user can change the variables magnitudes to select another model.

A validation of experience with end users was carried out, highlighting among the results the significant reduction of calculation time, the reduction of calculation errors (from 29% to 7%) and the hedonic acceptability of software with attributes such as "Easy to install ", " easy to use " and " fast ", among others. There are some proposed improvements, such as the aesthetics of the interface and decimal punctuation errors handling in the entry of variables.

## Introducción

Las computadoras procesan datos bajo el control de un conjunto de instrucciones conocidas como “programas de computadora”, los cuales guían al ordenador a través de conjuntos de acciones especificadas por los programadores. A los programas que se ejecutan en una computadora se les denomina Software.

Los Programadores escriben instrucciones en diversos lenguajes de programación, pero los computadores sólo realizan estas instrucciones en “lenguaje máquina”, que por lo general es código binario (ceros y unos, 0 y 1). Éste último lenguaje es de difícil interpretación para los humanos, y es por esto que se requieren de programas traductores, ensambladores o compiladores, que traducen el lenguaje de programación de alto nivel (de uso del programador, de fácil lectura y desarrollo por ser muy similar al inglés común) a lenguaje máquina (de uso por el hardware del computador, que permite la ejecución de las órdenes de manera consecutiva y/o paralela) (Deitel,P. y Deitel, H., 2012)

Como instrumento de planificación, reflexión y orientación, evidentemente la programación sirve en definitiva como elemento que permite aumentar la conciencia sobre la práctica educativa y por tanto como instrumento a través del cual se articula la mejora de la calidad de la educación.



La necesidad de una adecuada programación ayudará a:

- Eliminar el azar y la improvisación
- Instaurar la reflexión sobre la secuenciación y temporización de objetivos, contenidos y actividades.
- Evitará la pérdida de tiempo y rentabilizará nuestros esfuerzos.
- Sistematizará, ordenará y concretará lo establecido con carácter general en los proyectos curriculares. (Suárez, M. 2008)

Un software como modelo de aplicaciones industriales puede ser de gran utilidad académica en enseñanza especializada, tanto en administración, control de calidad, producción y logística. Se puede utilizar también para el manejo y control de equipamiento.

Dentro del equipamiento industrial, existen aparatos denominados bombas, que están destinados a extraer, elevar, e impulsar un fluido en una dirección determinada. Convierte la energía suministrada (generalmente eléctrica, a través de un elemento motriz) en energía de fluido, ya sea como energía cinética, potencial o de presión. Se clasifican de manera general en “bombas cinéticas” y “bombas de desplazamiento positivo”.

Las bombas cinéticas no son recomendadas para el desplazamiento de fluidos no Newtonianos, puesto que éstos tienen distintos comportamientos respecto al esfuerzo de corte y a la gradiente de velocidad. Sin embargo, el principio de funcionamiento a presión (bombas de desplazamiento positivo) son adecuadas,

ya que el esfuerzo de corte es no es un factor determinante, por lo que la viscosidad del fluido se mantiene estable sin generar sobreesfuerzos en la mecánica de la bomba.

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Planteamiento del problema

En la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, se realiza un proyecto de diseño de una planta de concentrado de pulpa de frutas, para alumnos de último año de pregrado.

Dentro de este proyecto es necesaria la elección de equipamiento, siendo crítico escoger adecuadamente bombas de desplazamiento positivo correspondientes al diseño. Este procedimiento es de alto valor pedagógico para los alumnos, sin embargo, también demanda gran cantidad de tiempo, principalmente debido a cálculos extensos, repetitivos y con tendencia a ser iterativos.

### 1.2 Hipótesis

Es posible diseñar un software basado en el lenguaje de programación Java, para el apoyo de los procesos enseñanza-aprendizaje del proyecto de diseño de planta de concentrados de fruta, específicamente en la selección de bombas de desplazamiento positivo, reduciendo el tiempo invertido en cálculos, sin perder el valor pedagógico que se persigue en el proyecto.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos generales

- Generar un software para la elección de bombas Waukesha e implementarlo para la utilización de los usuarios objetivo.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una interfaz intuitiva y amigable para el usuario objetivo
- Facilitar los cálculos repetitivos y extensos
- Facilitar el proceso de selección de las bombas Waukesha mediante recomendaciones y orientando con criterios según parámetros necesarios
- Reducir tiempo de cálculo de variables y unidades involucradas en la selección de bombas Waukesha.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Bombas hidráulicas

Las bombas son los aparatos destinados a extraer, elevar, e impulsar un fluido en una dirección determinada. Convierte la energía suministrada por un elemento motriz en energía de fluido, ya sea energía cinética, potencial o de presión.

Las bombas se clasifican en dos grandes grupos. Dinámicas y de desplazamiento positivo. (Reyes, A. 2010)

### 1.4.2 Bombas de desplazamiento positivo

En las bombas de desplazamiento positivo, la transferencia de energía al fluido es hidrostática, donde el cuerpo de desplazamiento ejerce presión sobre el fluido. (G.U.N.T. Gerätebau GmbH. 2018), es decir, la diferencia de volumen en la cámara donde se confina el fluido es el que produce el movimiento del mismo. (Paz Penín, C. "et al". 2012)

Este trabajo se puede expresar como:

$W = V * P$ , donde  $W$  = trabajo,  $V$  = volumen de la cámara y  $P$  = Presión ejercida. Ecuación (1).

El esquema de la Figura 1 es una clasificación general de bombas de desplazamiento positivo, mientras que la Figura 2 muestra algunos ejemplos gráficos de funcionamiento de dichas bombas.

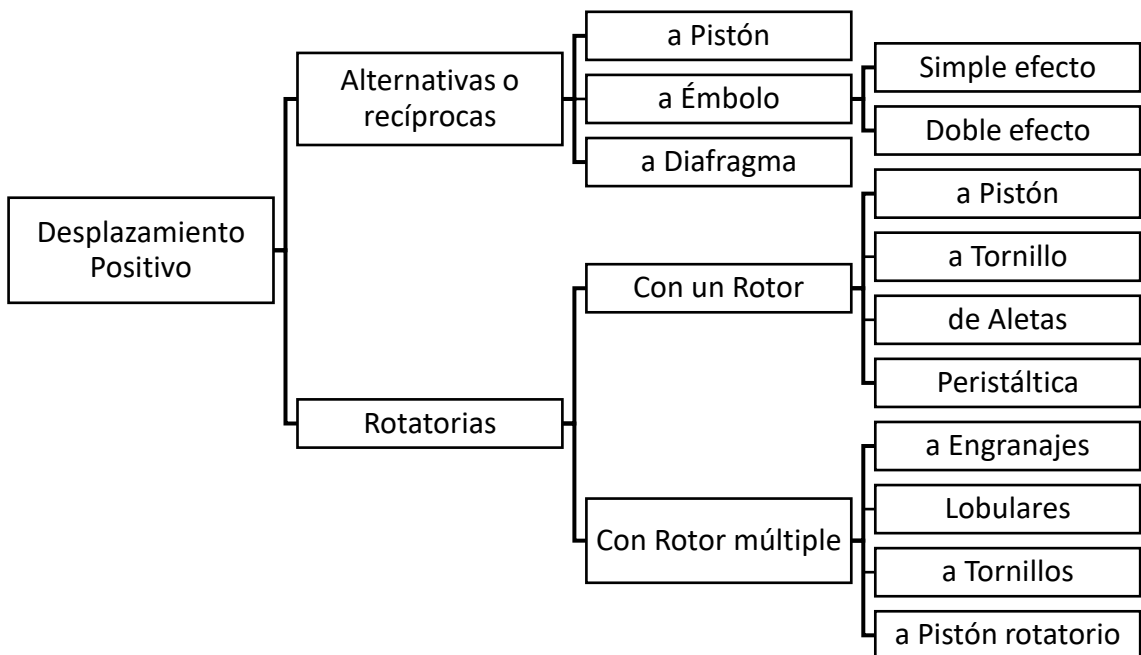


Figura 1: diagrama de clasificación general de bombas de desplazamiento positivo (Reyes, A. 2010).

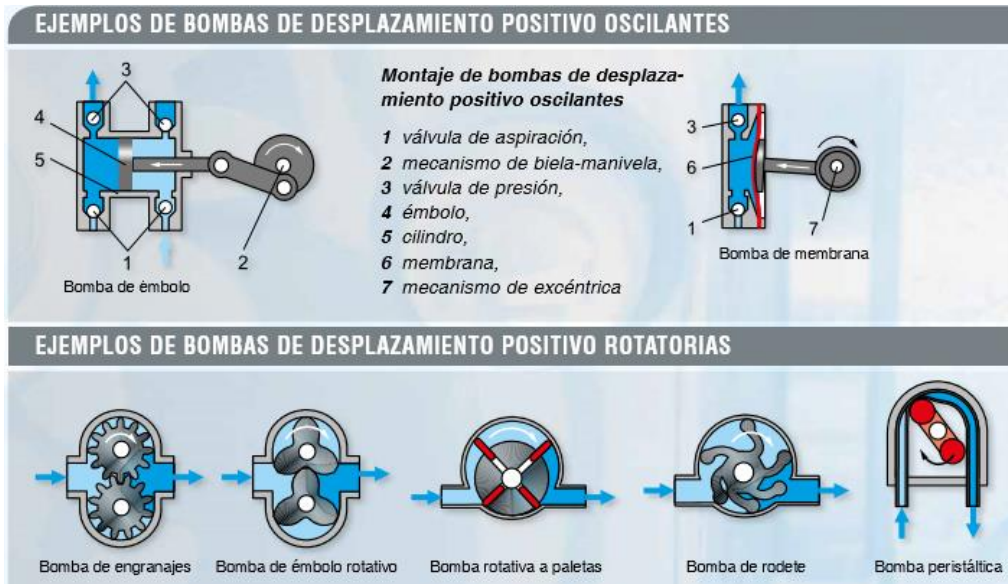
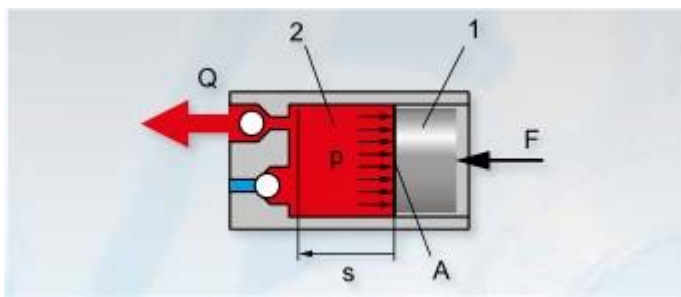


Figura 2: Ejemplos de bombas de desplazamiento positivo

Un Pistón o embolo puede transferir energía cinética a un volumen de líquido como energía hidrostática, como se ejemplifica en la figura 3.



*1 cuerpo de desplazamiento, 2 espacio de trabajo;  
 $Q$  caudal volumétrico,  $F$  fuerza de desplazamiento,  
 $A$  superficie,  $p$  presión de elevación,  
 $s$  fuerza de desplazamiento*

Figura 3: Funcionamiento elemental de transferencia de energía hidrostática

Las Bombas Waukesha Cherry-Burrell son bombas de pistones circunferenciales externos o ECP (External Circumferencial Piston), en este tipo de bombas cada rotor tiene 2 pistones; se utilizan 2 rotores accionados externamente por el engranaje de sincronización, para que roten en sentidos opuestos.

El movimiento de los rotores crea una cavidad que se expande en el sitio de entrada, obligando al fluido ingresar a la cámara de la bomba. Los rotores mueven el fluido alrededor del cilindro hacia al lado de salida, donde es forzado a salir de la bomba ya que la cavidad se contrae. En la Figura 4 se muestra un diagrama de movimiento de fluido en las Bombas ECP.

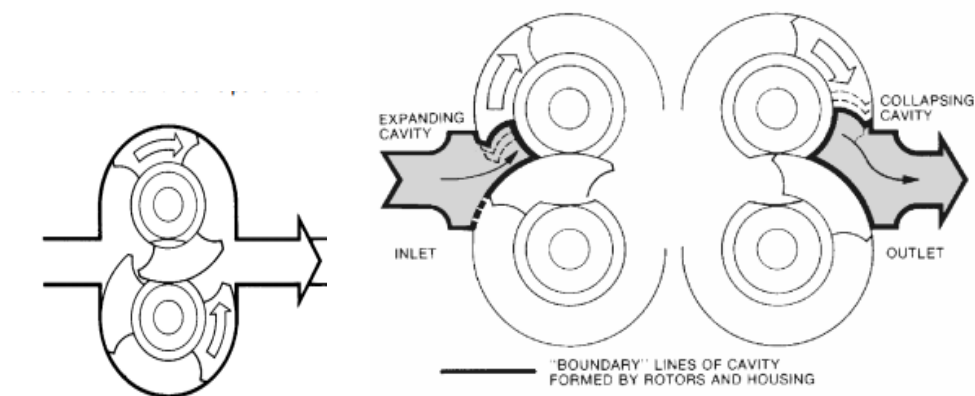


Figura 4: Bombas de pistones circunferenciales externos o ECP Waukesha Cherry-Burrell (SPX FLOW, inc. 2015)



### 1.4.3 Hidráulica

A continuación, se definen algunos conceptos que se utilizan en el desarrollo del software.

#### 1.4.3.1 Esfuerzo de corte

En un material que fluye (fluido), el esfuerzo de corte es la Fuerza por unidad de área aplicada paralelamente al desplazamiento (cortante). Consta de unidades de fuerza dividido por superficie y es considerada una magnitud microscópica, ya que cambia en cada punto del perfil de velocidades del fluido.

$$\sigma = F/A \quad \text{Ecuación (2)}$$

#### 1.4.3.2 Velocidad de deformación

El esfuerzo cortante provoca el desplazamiento ordenado de los elementos del fluido, que alcanzan unas velocidades relativas estacionarias  $V(x)$ . La velocidad de corte se define como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades

$$\gamma = \frac{dx}{dy} \quad , \text{ donde } \gamma \text{ es una magnitud vectorial (1/tiempo). Ecuación (3)}$$

(Huaranga, E. y Matos, C. 2011)

La variación lineal de velocidades provocada en el interior del fluido representa una velocidad de deformación angular de éste (representado en la Figura 5). La diferencia de velocidades  $dV$  entre dos puntos del fluido que se encuentran en una pequeña distancia  $dy$ , es una evidencia de que el fluido escurre.

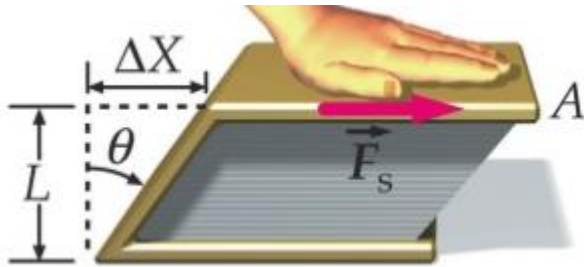


Figura 5: Representación de esfuerzo de corte y deformación angular

#### 1.4.3.3 Viscosidad

Se puede definir viscosidad como una propiedad del fluido por la cual éste opone resistencia a escurrir o a la deformación angular provocada por el esfuerzo de corte

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{dV}{dy}\right)} \text{ Ecuación (4)}$$

También se puede definir Viscosidad Cinemática ( $\nu$ ) como la dificultad que opone el fluido a escurrir sometido a los esfuerzos internos que provoca su propio peso

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{donde } \rho = \text{densidad} \quad \text{Ecuación (5)}$$

(Fernández, B. 2005)

#### 1.4.3.4 Fluidos Newtonianos

Los Fluidos newtonianos son aquellos que obedecen linealmente el comportamiento Esfuerzo de corte vs Viscosidad o “**ley de viscosidad de Newton**” tales como el agua o los gases a temperatura ambiente.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} = \mu \frac{d\gamma}{dt} = \mu \dot{\gamma}$$

Ecuación (6)

Los fluidos que no siguen la ley de viscosidad de Newton se denominan no Newtonianos. El comportamiento de flujo de estos fluidos es mucho más complejo que el de los Newtonianos. Para estos fluidos, la viscosidad varía con la tasa de corte en diferentes maneras. (Serrano, A. 2014)

Dentro de la clasificación de los Fluidos no Newtonianos independientes del tiempo se encuentran los Fluidos Plásticos (Bingham), Plástico real, Pseudoplásticos y Dilatantes. Mientras que dentro de los Fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo es posible encontrar los fluidos Tixotrópicos y Reopéticos. En la Figura 6, se muestra el comportamiento de estos fluidos según su tasa de corte vs tiempo.

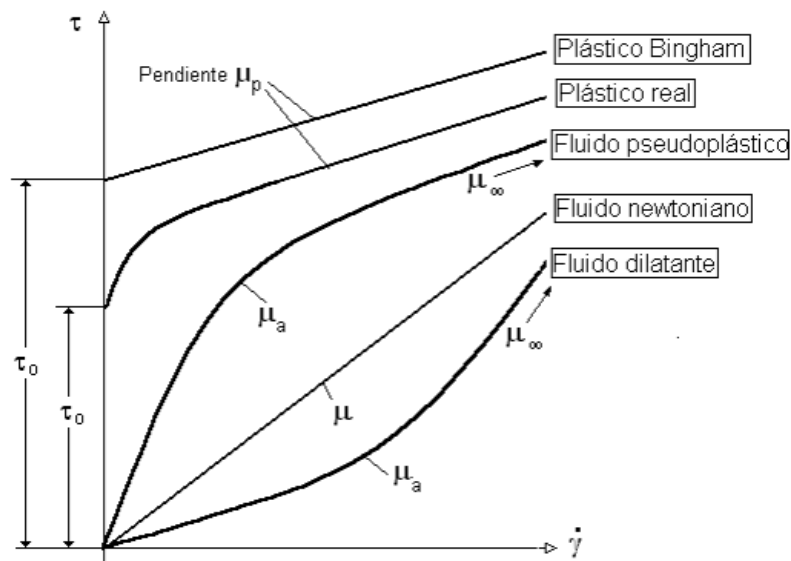


Figura 6: Representación de fluidos no Newtonianos independientes del tiempo

#### 1.4.3.5 Fluidos no Newtonianos

Los fluidos no-newtonianos independientes del tiempo, se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación, y se representan funcionalmente en tres formas equivalentes (Pardo,M. 2013).

#### 1.4.3.6 Plástico ideal o de Bingham

Se denomina plástico ideal o de Bingham a las sustancias o fluidos que para tensiones tangenciales inferiores a un valor característico se comportan elásticamente, y superado ese valor muestran un comportamiento similar al de un fluido newtoniano. A este tipo de fluido lo caracteriza dos constantes, la tensión tangencial de fluencia  $\tau_0$  que es el valor de para que se inicie el flujo, y el coeficiente de viscosidad plástica  $\mu_p$  dado por la pendiente  $d\tau/d\dot{\gamma}$ . La relación que siguen los plásticos de Bingham es:

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{o} \quad \tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}$$

Ecuaciones (7) y (8)

#### 1.4.3.7 Plástico real

Son sustancias que no fluyen hasta la tensión de fluencia  $\tau_0$ , y luego presentan una zona de viscosidad variable que disminuye con el incremento de la velocidad de deformación, hasta alcanzar un valor asintótico constante.

#### 1.4.3.8 Fluidos Pseudoplásticos

Los fluidos pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse, pero la viscosidad medida por la pendiente de la curva  $\tau = f(\dot{\gamma})$  es alta para bajas velocidades de deformación, y decrece con el incremento de  $\dot{\gamma}$  hasta alcanzar un valor asintótico  $\mu \rightarrow \text{constante}$ . La relación más simple que describe el comportamiento de los fluidos pseudoplásticos es la denominada ley potencial o de Ostwald que puede escribirse como :

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \text{ siendo } n < 1 \text{ con } K = \text{índice de consistencia, } n = \text{índice de flujo}$$

(si  $n=1$  y  $K=\mu$ , la ecuación describe a un fluido Newtoniano) Ecuación (9)

Para estos fluidos se define un coeficiente de viscosidad aparente :

$$\mu_a = \tau / \dot{\gamma} \text{ Ecuación (10)}$$

Esto se puede representar con la ley potencial o Ley de la potencia como :

$$\mu_a = \frac{k \dot{\gamma}^n}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{(n-1)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

#### 1.4.3.9 Fluidos Dilatantes

Los fluidos dilatantes al igual que los pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia inicial, pero el coeficiente  $\eta$  disminuye al aumentar el gradiente de velocidad hasta que para grandes valores de éste adquiere un valor  $\mu \infty$  constante. Los fluidos dilatantes son mucho menos comunes que los pseudoplásticos. Ejemplo de fluidos que exhiben este comportamiento son la manteca, las arenas movedizas y las suspensiones de almidón. Se pueden modelizar con la ley potencial, con exponente  $n > 1$ :

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad \text{siendo } n > 1 \quad \text{Ecuación (12)}$$

o logarítmicamente como

$$\log \tau = \log k + n \log \dot{\gamma} \quad \text{Ecuación (13)}$$

La representación de la expresión anterior en escala logarítmica para los dos ejes es una línea recta, cuya pendiente es el coeficiente de comportamiento  $n$ , y la intercepción con el eje de ordenadas correspondiente a  $\log \dot{\gamma} = 0$  equivalente a  $\dot{\gamma} = 1$  da el valor de  $\log k$  que permite determinar el coeficiente de consistencia  $k$ . Se puede ver una representación gráfica de estas relaciones en la Figura 7.

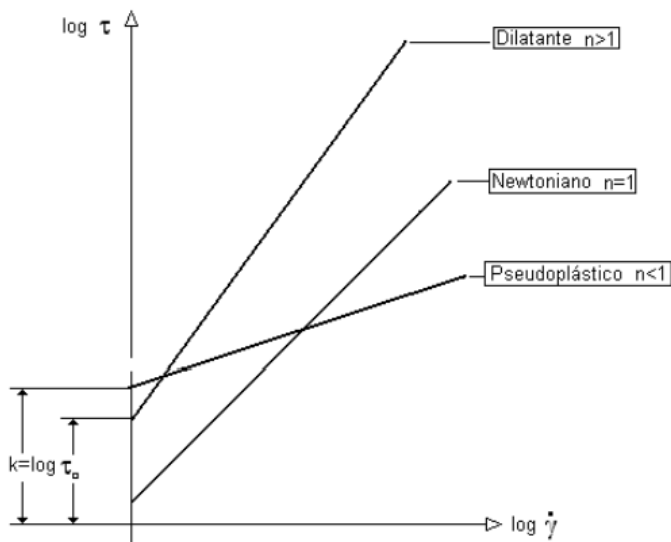


Figura 7: Representación logarítmica de la ley potencia.



#### 1.4.3.10 Fluidos tixotrópicos

La viscosidad aparente de los fluidos tixotrópicos es una función tanto de la tensión tangencial como de la velocidad de deformación:

$$\mu_a = f(\tau, \dot{\gamma}) \quad \text{Ecuación (14)}$$

Al actuar una tensión tangencial a este fluido desde el estado de reposo, sufre un proceso, de fraccionamiento a escala molecular seguido de una reconstitución estructural a medida que transcurre el tiempo. Eventualmente y en ciertas circunstancias, se logra un estado de equilibrio donde el fraccionamiento molecular iguala a la reconstitución. Si la tensión tangencial cesa, el fluido se recupera lentamente y vuelve a adquirir su consistencia original en un proceso que se caracteriza por su reversibilidad.

#### 1.4.3.11 Fluidos Reopécticos

Los fluidos reopécticos se comportan en forma parecida a los tixotrópicos, pero en ellos la variable  $\eta$  tiene un incremento con la velocidad de deformación similar a la de un fluido dilatante en su fase inicial de deformación hasta alcanzar un valor límite donde  $\tau$  comienza a disminuir con  $\dot{\gamma}$ . En Un ejemplo de fluido reopéctico es el espesamiento de la clara de huevo por efecto de la agitación.

Otras sustancias tienen propiedades reopéticas inicialmente, pero la pierden para altas tensiones tangenciales, volviéndose tixotrópicos. (Hernández, M. 2013)

#### 1.4.3.12 Fricción

Existe variadas ecuaciones, teóricas y empíricas, que nos permiten estimar las Pérdidas por Fricción asociadas con el flujo a través de determinada sección de una conducción. Entre las de uso más común encontradas en la bibliografía son las siguientes:

- *Ecuación de Manning*. Es la ecuación utilizada por excelencia en el estudio del Flujo a Superficie Libre (aquél en donde el flujo está abierto a la atmósfera, como en el caso de canales y ríos).

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación (15)

- *Ecuación de Darcy-Weisbach*. Es una ecuación teórica utilizada para el cálculo de Pérdidas por Fricción en sistemas operando a Presión. Su uso no se ha extendido (al menos en la parte práctica) debido a lo complejo que es el cálculo

del Factor de Fricción, siendo necesario generalmente la realización de iteraciones o el uso de métodos numéricos para lograr la resolución.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación (16)

- *Ecuación de Hazen-Williams*. Esta es una ecuación empírica de extendido uso en el Campo de la Ingeniería Civil para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en Conducciones a presión. Surge, a principios del siglo XX, como una tendencia de, precisamente, solventar lo complejo que resultaba el cálculo de estas pérdidas con la Ecuación de Darcy-Weisbach.

$$V = 0.8494 * C * (Rh)^{0.63} * S^{0.54}$$

Ecuación (17)

(Tutoriales Ingeniería Civil. [201-])

Para el Cálculo de la pérdida de carga por fricción se empleará la utilización de diagramas utilizado en el Manual de Bombas de Desplazamiento Positivo Waukesha, para esto se necesita:

- determinar el diámetro de la tubería
- determinar los metros de tubería que recorre el fluido
- determinar la cantidad de válvulas y accesorios que se utilizarán en la tubería

Es común que, para las válvulas y accesorios, se determine una longitud de tubería equivalente, con el fin de estandarizar los cálculos. A cada válvula y accesorio se les ha asignado una cantidad de distancia de tubería. Para esto se utiliza el diagrama “**Resistance of Valves and Fittings to Flow of Fluids**” del Manual de Bombas de desplazamiento Positivo Waukesha. Como resultado se obtiene una distancia de tubería que se adicionará al largo de tubería del diagrama de sistema.

Para la utilización del diagrama “Pipe Frictional Loss Graph” del Manual de Bombas de desplazamiento Positivo Waukesha, es necesario poseer los siguientes datos:

- Viscosidad del fluido en condiciones de trabajo
- Tipo de tubería utilizado (acero inoxidable, sanitary)
- Caudal

Como resultado se obtiene la caída de presión en PSI, correspondiente a la fricción entre el fluido y la tubería del sistema.

#### 1.4.4 Secuencia de cálculo de elección de bomba de desplazamiento positivo

Se realizan los siguientes pasos para la selección de bomba de desplazamiento positivo:

- 1- Cálculo de densidad de concentrado
- 2- Cálculo de flujo Másico
- 3- Caudal del concentrado
- 4- Velocidad de Flujo
- 5- Obtención de índices de consistencia e índices de flujo del concentrado  
(bibliografía)
- 6- Cálculo del Numero de Reynolds Generalizado
- 7- Cálculo de fricción de Fanning
- 8- Cálculo de viscosidad efectiva del fluido a condiciones de trabajo
- 9- Selección de bomba
  - a. Cálculo de pérdida de carga en descarga
    - i. Fricción
    - ii. Presión estática
    - iii. Presión total
  - b. Cálculo de pérdida de carga en succión
    - i. Fricción
    - ii. Presión estática

- iii. Presión de entrada
- iv. NIPA
- v. NIRP
- c. HP
- d. Eficiencia
- e. Torque

Formulas y ecuaciones relacionadas con los puntos 1 a 9 entregadas en Anexo

N°1

### 1.4.5 Página Web

Una Página Web es un documento electrónico que forma parte de la WWW (World Wide Web) generalmente construido en el lenguaje HTML (Hyper Text Markup Language o Lenguaje de Marcado de Hipertexto) ó en XHTML (eXtensible Hyper Text Markup Language o Lenguaje de Marcado de Hipertexto Extensible). Este documento puede contener enlaces (característica del hypertext) que nos direcciona a otra Página Web cuando se efectúa el click sobre él. Para visualizar una Página Web es necesario el uso de un Browser o navegador. Una Página Web puede estar alojada en un ordenador local o en un ordenador remoto. Al servidor donde esté alojada la Página Web se le denomina Servidor Web. El Servidor Web atiende las peticiones de Páginas Web utilizando el protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol); del lado del cliente es el Browser o navegador el que recibe y muestra las Páginas Web utilizando el mismo protocolo. Otra característica importante es que una Página Web puede ser estática (su contenido siempre es el mismo) o dinámica (su contenido se construye a partir de la información introducida por el usuario). Una Web es un conjunto de Páginas Web interrelacionadas que conforman lo que se conoce como un Sitio Web. La WWW o la Web es todo el conjunto de información interrelacionada que se haya disponible en Internet, ésta se conforma por una serie de servidores a nivel mundial organizados por dominios (nombres lógicos

asociados a instituciones o empresas, otorgados por empresas registradoras oficiales).

A cada Página Web le corresponde un único URL (Uniform Resource Locator o localizador uniforme de recursos), que es una secuencia de caracteres que se utilizan para identificar objetos (como documentos e imágenes) en Internet por su localización, ejemplo: <http://www.econta.com/demo/index.html> El URL identifica en que ordenador se encuentra el objeto a mostrar ([www.econta.com](http://www.econta.com)), bajo que estructura de directorio (/demo) y finalmente, el nombre específico del objeto (index.html). Cada enlace que se encuentren en una Página Web contiene una dirección URL, cuando se efectúa un click sobre cualquiera de estos enlaces se envía un requerimiento para obtener un documento que se encuentra alojado en el ordenador o servidor de consulta y que está identificado unívocamente por su URL. (Comunidad de Madrid, Emprendedores. [201-]).



#### 1.4.6 Hosting

Hosting (también llamado Alojamiento Web) consiste en alquilar un servidor de un proveedor Hosting que permite alojar páginas web, información, imágenes, vídeo, o cualquier contenido para que sea accesible vía la web. Normalmente el mismo proveedor de Hosting también se encarga del Dominio de su página web y correo. (Tecnologías de Información. 2014)

#### 1.4.7 DNS

DNS (*Domain Name Service*) es un sistema de nombres que permite traducir de nombre de dominio a dirección IP y vice-versa. Aunque Internet sólo funciona en base a direcciones IP, el DNS permite que los humanos usen nombres de dominio que son bastante más simples de recordar (pero que también pueden causar muchos conflictos, puesto que los nombres son activos valiosos en algunos casos).

El sistema de nombres de dominios en Internet es un sistema distribuido, jerárquico, replicado y tolerante a fallas. Aunque parece muy difícil lograr todos esos objetivos, la solución no es tan compleja en realidad. El punto central se basa en un árbol que define la jerarquía entre los dominios y los sub-dominios. En un nombre de dominio, la jerarquía se lee de derecha a izquierda. Por ejemplo,

en dcc.uchile.cl, el dominio más alto es cl. Para que exista una raíz del árbol, se puede ver como si existiera un punto al final del nombre: dcc.uchile.cl., y todos los dominios están bajo esa raíz (también llamada ``punto") (Piquer, J. 1998).

#### 1.4.8 Joomla

Joomla es un Gestor de Contenidos para desarrollos web: es una especie de programa para gestionar páginas web. En inglés se denomina CMS (Content Management System). Existen diversos CMS's de libre difusión (p.ej. Mambo, Drupal, Nucleus, etc.) y Joomla es uno de los más utilizados. Se basa en estándares propios de desarrollos web como XHTML, CSS, JavaScript y PHP. Joomla es una aplicación web, es decir, no se ejecuta en nuestro equipo local sino en un servidor.

Joomla es software libre, es decir, está desarrollado por una comunidad de usuarios que lo mejoran, actualizan y lo ponen a disposición para su uso gratuitamente. Permite publicar sitios web cuyos contenidos cambian continuamente, fáciles de administrar y ampliar sin necesidad de realizar una inversión económica en software. Joomla se distribuye con unos contenidos básicos y a esta versión de base se denomina "Joomla nativo". Joomla nativo

está bastante centrado sobre el formato de “artículo”. Además, se está continuamente ampliando a través de nuevos módulos y plantillas que se van publicando periódicamente.

Joomla permite tanto la publicación por parte del gestor de la página web como la interacción de los usuarios de la web a través de publicación de artículos, encuestas o colaboraciones en la gestión del sitio. Es quizás en webs de comunidades donde Joomla se ha hecho más popular. Es decir, aparte de permitir la publicación continua de contenidos nuevos, permite que una comunidad de usuarios interactúe y participe en el sitio. Esto no significa que un sitio Joomla cuente siempre con una comunidad de usuarios: algunos sitios Joomla son administrados por una única persona, aunque esto no es lo habitual. Joomla es una solución indicada para personas que quieren publicar una web centrándose en los contenidos y dejando que el “backup” se base en un desarrollo de software libre. (Rancel, M. 2019.)

## CAPÍTULO 2

### 2.1 Desarrollo

#### 2.1.1 Tratamiento de datos desde los gráficos de manual Waukesha

Sean los diagramas de bombas de desplazamiento positivo Waukesha como las ejemplificadas en el Anexo N°2. La extracción y procesamiento de datos para ser luego utilizados como base de datos del software o aplicación computacional, se realiza mediante la utilización del software GetData Graph Digitizer version 2.26 seguido por el tratamiento de los datos en Excel 2013.

En los diagramas existen 4 gráficos, todos ellos tienen 2 tipos de entradas y también tienen en común el eje de las abscisas correspondiente a RPM.

El primer gráfico, tiene como coordenadas independientes a los galones por minuto (GPM) y a la presión en PSI. Como coordenadas dependientes posee RPM. Estas últimas coordenadas (RPM) pasan a ser coordenadas independientes en los siguientes tres gráficos.

El segundo gráfico tiene como coordenadas independientes a RPM y PSI, y como coordenadas dependientes a WHP.

El tercer y cuarto gráfico tiene como coordenadas independientes a RPM y a la viscosidad efectiva en CPS (centipoise). El tercer gráfico tiene como coordenada dependiente a VHP, y el cuarto gráfico a NIRP en unidades de presión PSIa. (anexo N°2)

Para el primer gráfico sólo se obtiene la recta representada a 0 PSI, ya que en el proyecto para el que se diseña el software para la elección de bombas de desplazamiento positivo, los fluidos tienen viscosidades superiores a 200 CPS, y esto (según el uso de manual Waukesha) implica que la línea de 0 PSI es la línea de operación (ver figura 8).

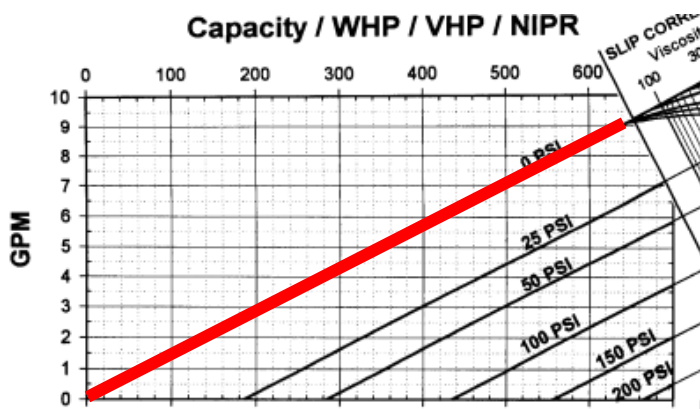


Figura 8: Línea de operación para fluidos con viscosidades superiores a 200 CPS

Es posible obtener la ecuación de esta recta,  $Y=mX + C$ , donde  $C=0$  por lo que  $Y= mX$ . Ecuación (18)

La pendiente  $m$  es la que define en este gráfico que RPM corresponde a un determinado GPM.

Para el siguiente gráfico RPM vs WHP, la entrada PSI representada por varias rectas que pasan por el origen. Es necesario estimar o “imaginar” una recta correspondiente a un diferencial de presión dado para obtener un estimado del valor de WHP. (ej: para la bombas de desplazamiento positivo 015, un diferencial de presión de 75 PSI, significaría estimar una recta equidistante entre la recta que representada por 50 PSI y la recta 100 PSI). Con el fin de obtener una estimación de WHP más precisa se propone el siguiente tratamiento de datos.

El gráfico RPM vs WHP de la bombas de desplazamiento positivo 015 es tratado con el software *GetData Graph Digitizer versión 2.26*,

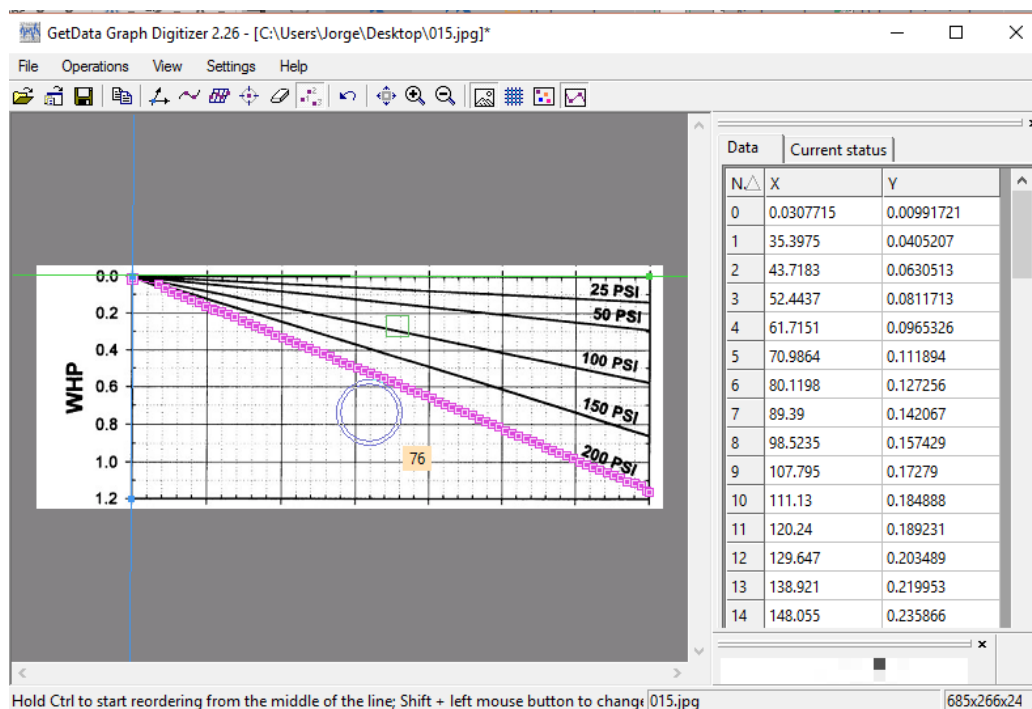


Figura 9: Obtención de datos con GetData Graph Digitizer.

De este modo se obtienen tablas de datos (x,y) para cada una de las rectas de PSI, desde los gráficos expuestos en el manual de Waukesha con la herramienta de GetData Graph como muestra la Figura 9. Las tablas de datos son procesados en Excel 2013 donde se obtienen rectas de la forma  $Y=mX + C$ , donde usualmente  $C = 0$ . (ver figura 10)

Puesto que se obtiene una recta para cada PSI, también se obtiene una pendiente  $m$  para cada PSI.

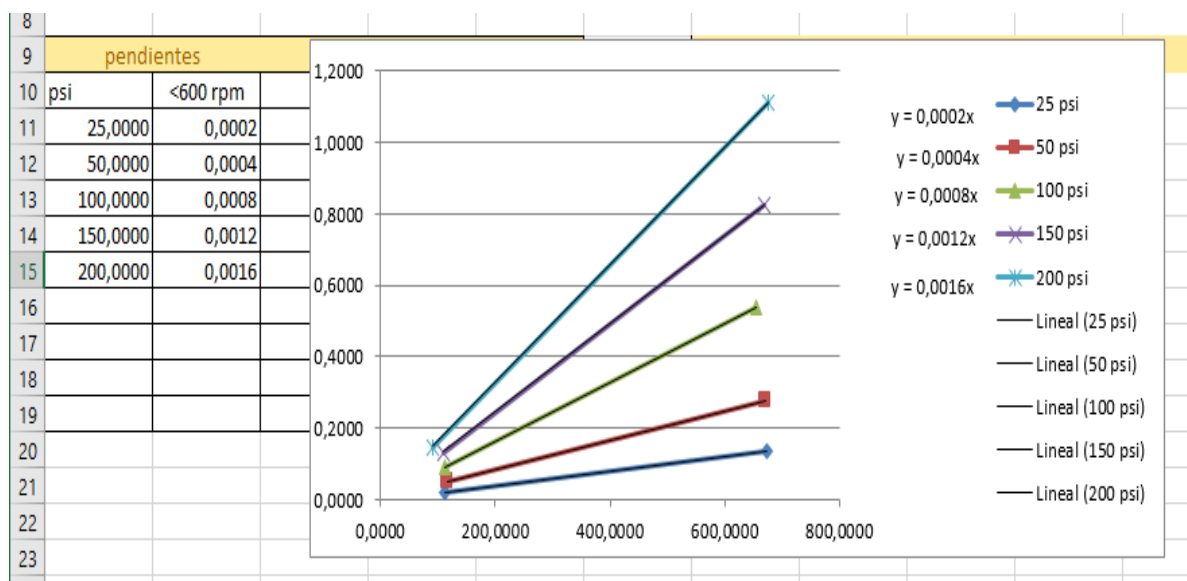


Figura 10: Obtención y tabulación de pendientes con sus respectivos PSI

Con esta nueva tabulación se puede generar una nueva curva ajustada, PSI vs  $m$ , como se muestra en la figura 11.

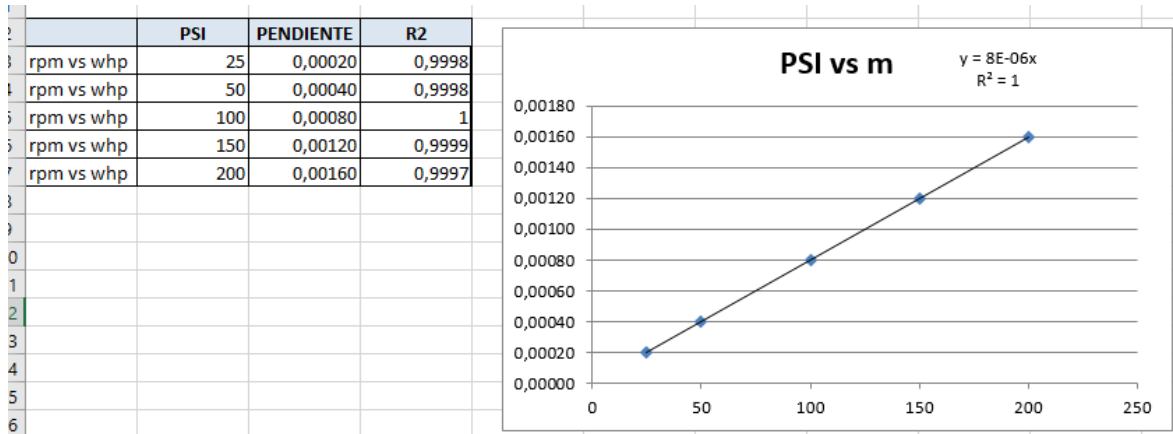


Figura 11: generación de curva ajustada PSI vs m

Esta nueva curva representa la variación de las pendientes de las rectas respecto al diferencial de presión en PSI en el gráfico RPM vs WHP.

Con esta curva se puede generar una infinidad de rectas de PSI en el gráfico RPM vs WHP como se ve representado en la Figura 12.

Se ha generado una tabla de 47 diferenciales de presión entre 25 y 200 psi. Esta tabla fue ingresada como un objeto Array dentro de las líneas de programación del software.



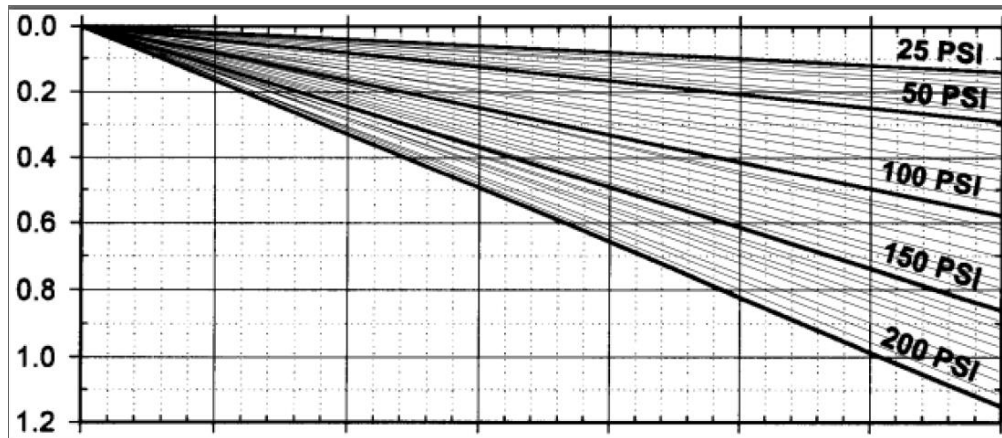


Figura 12: representación teórica de las nuevas rectas generadas de PSI para el gráfico RPM vs WHP

La operación dentro del software consta de la búsqueda de un valor de PSI en la tabla Array lo más parecido al valor de diferencial de presión otorgado por el usuario. Encontrado este valor en la tabla Array, se obtiene el valor de la pendiente asociada. Ésta pendiente multiplica el valor de RPM ya obtenido en una operación anterior, generando un valor de WHP aproximado.

La metodología acá expuesta se realizó para los gráficos de WHP vs RPM, VHP vs RPM y NIRP vs RPM (segundo, tercer y cuarto diagrama) desde la BDP (bomba de desplazamiento positivo) modelo 006 hasta el modelo 320 con las debidas modificaciones tanto en de unidades como en las regresiones lineales para la obtención de curvas. Se generó una pequeña base de datos en forma de Arrays contenidas en la Clase BaseDatosBombas.class del software.

## 2.1.2 Generación de software

Existen variados programas que ayudan a la gestión y creación de aplicaciones, en distintos lenguajes de programación. El software desarrollado en este proyecto se ha bautizado con el nombre de “Softkesh”. Para desarrollar Softkesh se utilizó GUI Builder de NetBeans, en la Figura 13 podemos ver una imagen del entorno de desarrollo de Netbeans.

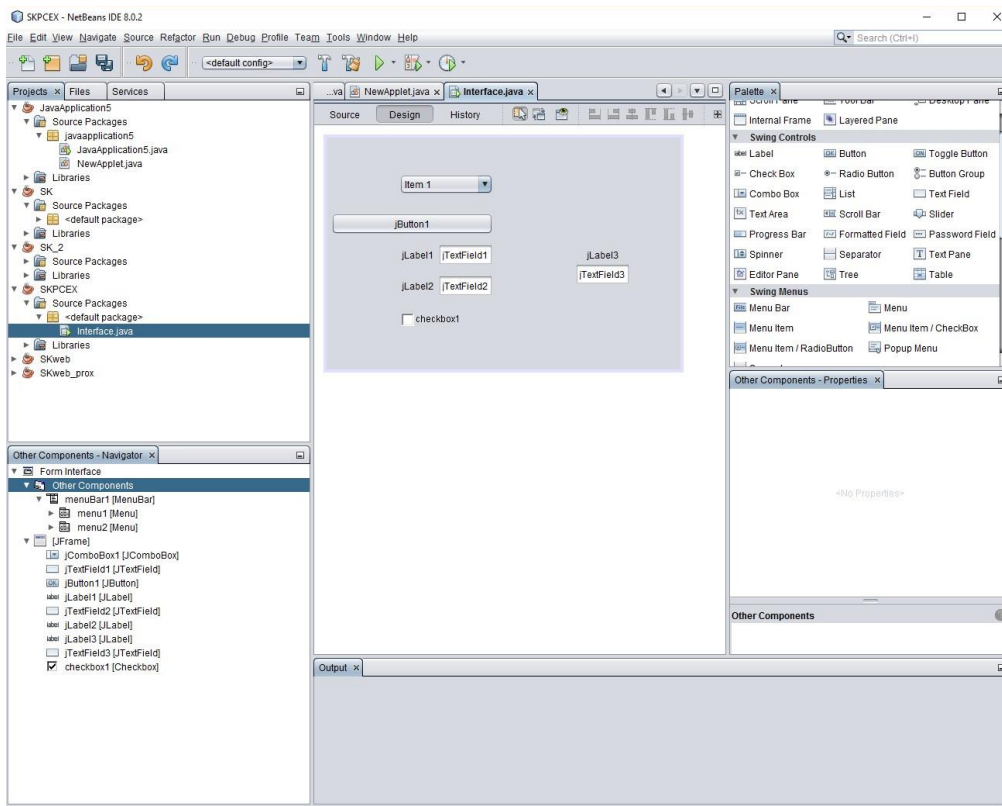


Figura 13: GUI Builder de NetBeans v8.8.2

NetBeans es un proyecto de código abierto con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento. Sun Microsystems fundó NetBeans en junio 2000 y continúa siendo el patrocinador principal.

NetBeans IDE es un entorno de desarrollo, es decir, una herramienta para que los programadores puedan escribir, compilar, depurar y ejecutar programas y que está escrito en Java. NetBeans IDE es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

Ambos productos son de código abierto y gratuitos para uso tanto comercial como no comercial. (The Apache Software Foundation.[201-])

Los objetos que se utilizaron en la interfaz gráfica de Softkesha , son de 4 tipos: (Etiquetas, Campos de texto, Combo box y Botones). Se puede apreciar un ejemplo en la Figura 14.

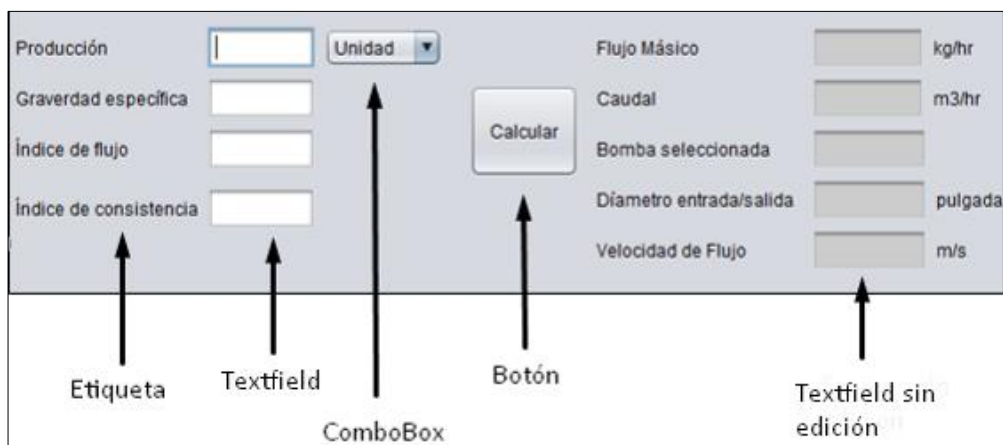


Figura 14: Objetos utilizados en la interfaz gráfica de Softkesha

Las etiquetas sirven para identificar sectores u objetos dentro de la interfaz. No tienen más que una función informativa (aunque se pueden utilizar como campos dinámicos para mostrar información que proceda desde la ejecución de líneas de comando)

Los Campos de texto (textfield) permiten al usuario ingresar información en forma de cadena de texto o números (o una combinación de éstos). Estos campos de texto poseen una propiedad que permite bloquear el ingreso de texto (sin edición) y utilizarlos sólo para mostrar formación.

Los Objetos Caja combinada (Combo Box) son capaces de almacenar una lista de elementos, que se muestra de manera despegable. Esta lista de elementos se puede generar en forma dinámica de manera que sea diferente según algunos parámetros entregados. Estos elementos son seleccionables y pueden a su vez ser utilizados como argumento para otro cálculo o función.

Los botones son objetos utilizados típicamente para ejecutar líneas de comando, es decir, son elementos utilizados como gatilladores de acciones. En este contexto, la mayoría de las líneas de comando utilizados para programar las funciones de Softkesha se encuentran relacionados con estos objetos.

### 2.1.3 Clases, objetos y Métodos de Softkesha

A continuación se definen en forma resumida algunos conceptos dentro de la programación orientada a objetos:

Campos o *atributos*: componentes de un objeto que almacenan datos. También se les denomina variables miembro. Estos datos pueden ser de tipo primitivo (boolean, int, double, char...) o, a su vez, de otro tipo de objeto (lo que se denomina *agregación o composición* de objetos). La idea es que un atributo representa una propiedad determinada de un objeto.

Rutinas o *métodos*: es una componente de un objeto que lleva a cabo una determinada acción o tarea con los atributos. En principio, todas las variables y rutinas de un programa de Java deben pertenecer a una clase.

Clases: Una *clase* representa al conjunto de objetos que comparten una estructura y un comportamiento comunes. Una clase es una combinación específica de atributos y métodos y puede considerarse un tipo de dato de cualquier tipo **no** primitivo. Así, una clase es una especie de *plantilla o prototipo* de objetos: define los atributos que componen ese tipo de objetos y los métodos que pueden emplearse para trabajar con esos objetos. (Garro, A. 2014)

Se puede representar una Clase de manera gráfica (UML, Lenguaje Unificado de Modelado) como en la Figura 15:

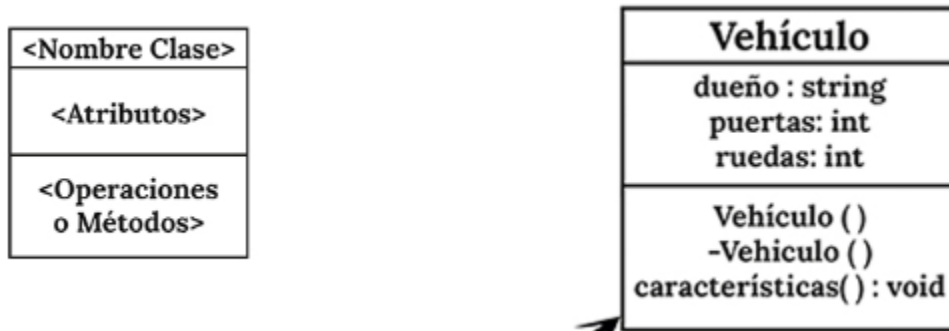


Figura 15: UML (Softwero. 2017)

#### 2.1.4 Disponibilidad de Softkesha a los usuarios

La gestión de Sofkesha para permitir su disponibilidad para los usuarios fue realizada a través de la creación de una página web.

Se ha elegido el proveedor de hosting Hostgator, con una cuenta tipo “Shared / Baby”, ya que este tipo de cuenta posibilita el “hospedaje” de la cantidad de dominios que uno necesite sin incrementar el precio de la suscripción, incluyendo una rápida e intuitiva administración de los distintos dominios y herramientas disponibles.

El dominio de la página web que se utiliza para la disponibilidad de Softkesha es [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com)

### 2.1.5 Pruebas con usuario final

El diseño del cuestionario para evaluar el uso de Softkesha hizo énfasis en el cálculo de variables, unidades e interpretación de los diagramas de elección de bombas Waukesha.

Para realizar una comparación, el cuestionario se dividió en 2 secciones, una para el desarrollo tradicional con el uso de papel, lápiz, calculadora y manual Waukesha; la segunda sección, con el uso de Softkesha y el manual Waukesha.

No se incluyeron los cálculos correspondientes a la pérdida de presión por diseño de tuberías, este punto se dispuso como variables ya calculadas. También se entregan datos bibliográficos, ya que puede ser una variable compleja de contabilizar puesto que depende de la disponibilidad de bibliografía del usuario.

El propósito es comparar tiempos de cálculo, errores y usabilidad del Software.

Dentro del cuestionario se pide al usuario el utilizar Waukesha, que está disponible como descarga en la página web [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com) , con esto, también se evalúa (dentro del tiempo de cálculo), la disponibilidad del recurso.

El cuestionario se realizó en la plataforma Google Forms, su dirección es

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfIlegp6Jy08TKXRtKOFHHbVSou7gmpZhDOWjCKZVB71J3Ghw/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfIlegp6Jy08TKXRtKOFHHbVSou7gmpZhDOWjCKZVB71J3Ghw/viewform?usp=sf_link)

También se adjunta en Anexo N°3.

Se realizan preguntas preliminares respecto a datos personales del usuario: Correo electrónico, nombre y apellido, año de estudios en curso.

Para cada pregunta, se ofrecen 5 alternativas de respuesta, 4 de ellas con respuestas predefinidas y la quinta como respuesta libre. Cabe notar que, para algunas preguntas, la respuesta correcta es la de respuesta libre.

La primera sección del cuestionario (calculo tradicional) consulta por:

- Flujo másico (datos de tonelada/día entregado)
- Caudal (datos de densidad entregado)
- Galones por minuto (datos de caudal y densidad entregados)
- Velocidad de flujo (datos de Flujo másico, densidad y diámetro de tubería entregados)
- Reynolds generalizado (datos de Diámetro, Velocidad de flujo, densidad, índice de consistencia e índice de flujo entregados)
- Viscosidad efectiva (datos de Fricción de fanning, flujo masico, diámetro de tubería, Factor de proporción y un ejemplo de cálculo entregado)
- Desde manual waukkesha, modelo de bomba de desplazamiento positivo 018-U2 (datos de galones por minuto, diferencial de presión y viscosidad efectiva) se consulta por:



- RPM
- WHP
- VHP
- NIRP

Con un total de parámetros consultados igual a 10.

La segunda sección del cuestionario (calculo con uso de Softkesha) consulta por:

Con datos de toneladas diarias, gravedad específica, índice de flujo, índice de consistencia, perdida de presión total de descarga, ganancia por altura, vacío del sistema, pérdida por roce y presión de vapor, entregados:

- Flujo másico
- Caudal
- Galones por minuto
- Bomba seleccionada
- Diámetro entrada/salida de la bomba
- Velocidad de flujo
- Reynolds generalizado
- Viscosidad efectiva
- Fricción de Fanning
- PED
- Presión de entrada
- NIPA

- Diferencial de presión
- Potencia requerida
- Eficiencia método A
- Eficiencia método B
- Torque de Bomba
- Torque límite de bomba
- Velocidad de trabajo de bomba
- WHP
- VHP
- NIPR
- Criterio  $NIRP < NIPA$
- Criterio Torque Límite

Con un total de parámetros consultados igual a 24.

Se pregunta también por la utilización del software, tanto en una con respuestas ya definidas, como también con respuestas libres.

Se ingresa la hora y día al empezar y terminar cada sección.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Resultados y Discusiones

#### 3.1.1 Interfaz gráfica del software

Softkesha se ideó como una aplicación intuitiva de utilizar (si el usuario conoce el contexto de las variables que se utilizan en la aplicación). Es por ello, que la interfaz gráfica de SoftKesha, necesita ser clara y no generar dudas.

Una versión preliminar del software se muestra en la Figura 16:

SoftKesha EXT V. 2.60

Producción  Unidad   Flujo Másico  kg/hr Galones por minuto  gpm  
Gravidad específica  Caudal  m3/hr

Seleccione una de las siguientes bombas   Bomba seleccionada  Velocidad de Flujo  m/s  
Índice de flujo  Diámetro entrada/salida  pulgadas Reynolds Generalizado   
Índice de consistencia  Viscosidad efectiva  centipoise Fricción de fanning

Pérdida de presión total en descarga  Unidad  Pérdida por Roce  Unidad  WHP de Bomba  HP  
Torque Límite bomba  FT-LBS Presión de vapor del Fluido  Unidad  VHP de Bomba  HP  
Ganancia por altura  Unidad  Velocidad de trabajo de bomba  RPM NIRP de Bomba  Unidad   
Vacío de sistema  Unidad

PED  PSI Potencia requerida  HP Criterio NIRP < NIPA   
Presión de entrada  PSI Eficiencia método A  % Criterio Torque límite   
NIPA  PSI Eficiencia método B  %  
Diferencial de Presión  PSI Torque bomba  FT-LBS

Figura 16: Interfaz gráfica de Softkesha versión v2.60

Esta versión, aunque estable, presentaba una experiencia de usuario bastante larga por la cantidad de campos requeridos.

Se optó por reducir la cantidad de datos que el usuario debía ingresar, (que involucra una modificación en la programación de los objetos involucrados) a 15 desde 22, y una disposición de secciones desde 3 a 2 módulos.

La utilización de los objetos “Combo Box” ayudan comprimiendo información, ya que se pueden transformar en una lista desplegable si es requerido, sin necesidad de mayor espacio en la interfaz gráfica.

La versión para la evaluación de experiencia de usuario se muestra en la Figura 17

Figura 17: Interfaz gráfica de Softkesha versión v5.21

Para los objetos ComboBox se utilizaron unidades de producción y unidades de presión como se indica en la Figura 18. Para cada opción, Softkesha utiliza la conversión correspondiente

Variable	Unidad
Producción	kg/día
Gravidad específica	Ton/día
Índice de flujo	Kg/hr
Índice de consistencia	Ton/hr
P.P.T.D.	PSI
Ganancia por altura	atm
Vacío de sistema	mm Hg
Pérdida por Roce	bar

Figura 18: Unidades utilizadas en los objetos Combobox

### 3.1.2 Clases y objetos

Para softkesha, se sintetizan sus Clases en 4 entidades.

La clase BaseDatosBombas contiene solamente ArrayList, que son listas que contienen, en este caso, cadenas de texto. Esta clase cumple la función de proveer información sobre los diagramas de cada bomba Waukesha hacia la interfaz, que solicita esta información según los parámetros ingrese el usuario.

La Clase CombosBoxes contiene métodos que ingresan información en los objetos ComboBox de la interfaz, para que estos puedan ser utilizados por el usuario.

La clase Operaciones contiene los métodos que calculan las variables que son mostradas en la interfaz.

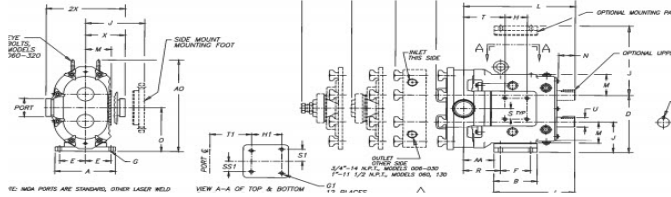
Por último, la Clase Interfaz, contiene las líneas de códigos que enlazan las tres clases anteriores, y que son gatilladas por los eventos de los objetos Botones, dentro de la misma interfaz. (Diagramas UML de clases en Anexo N°4)

### 3.1.3 Página web para disponibilidad al usuario

El desarrollo de la página web se realizó en Joomla. Se compone de una selección simple de 5 artículos, un menú para el acceso a ellos y una cabecera donde se encuentra el título de la página. En las Figuras 19, 20, 21 y 22 se puede apreciar el contenido de los artículos. De igual manera, el contenido se encuentra disponible en [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com)

# SOFTKESHA para equipamiento hidráulico

Inicio Sobre Softkesha Descargas Ejemplos

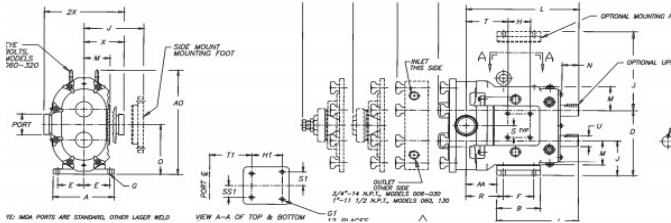


Bienvenido a edusoftkesha.com ¡el sitio de Softkesha!  
Softkesha es un pequeño Software para la elección de equipamiento hidráulico, específicamente Bombas de Desplazamiento Positivo este proyecto es de índole pedagógico

Este sitio estará en constante renovación hasta que el proyecto concluya  
Muchísimas gracias por su visita y esperamos que sea de su utilidad  
Si tiene alguna sugerencia puede enviarla a [soporte@edusoftkesha.com](mailto:soporte@edusoftkesha.com)

Figura 19: Página de bienvenida (cabecera, menú y artículo de bienvenida)

Inicio Sobre Softkesha Descargas Ejemplos



Softkesha es un grupo de aplicaciones que están desarrolladas para la utilización como herramientas que ayuden a los usuarios (alumnos) en la elección de bombas de desplazamiento positivo Waukesha.

Objetivos:

- facilitar los cálculos para la elección de bombas waukesha, minimizando operaciones matemáticas y automatizando la conversión de unidades
- reducir el tiempo de elección de bombas optimizando la pre-selección de equipamiento sin afectar el fin pedagógico el persigue el proyecto.

Softkesha PC es una aplicación descargable que se ejecuta en su ordenador. Solo basta con que cuente con la última versión de JAVA.

Softkesha PROX es una aplicación que ayuda a la pre-selección de una bomba Waukesha, de una manera rápida, que requiere pocos parámetros.

Figura 20: Página de introducción sobre Softkesha

Inicio Sobre Softkesha Descargas Ejemplos

**- Softkesha PC PROX**

Las descargas se gestionan mediante un enlace externo en una nueva ventana. (WWW.BOX.COM)

Figura 21: Página de descarga de archivo

Inicio Sobre Softkesha Descargas Ejemplos

**Ejemplo uso de diagrama**

**DATOS:**

- GPM = 14 galones por minuto
- Diferencia de presión = 130 PSI
- Viscosidad = 10.000 CPS

En el diagrama, sobre la primera sección, en el eje de las ordenadas, ubicar la graduación de 14 GPM. (1<sup>o</sup>). Horizontalmente se busca la intersección con la recta de 0 PSI que es la línea de operación (2<sup>o</sup>). Subiendo verticalmente obtenemos las revoluciones por minuto (480 RPM). (3<sup>o</sup>). Esta recta se proyecta para los tres diagramas restantes de forma vertical (observar que el eje de las Abscisas en el último diagrama NIRP, también refleja RPM).

En la sección WHP, se busca en el eje de las ordenadas a la derecha la diferencia de presión de 130 PSI (4<sup>o</sup>) y se proyecta una línea que asemeje el comportamiento de las rectas adyacentes hacia el origen. La intersección de esta línea y la línea proyectada de RPM (5<sup>o</sup>) es nuestro referente para la lectura en el eje de las ordenadas izquierdo de WHP que corresponde a 1.1 HP (6<sup>o</sup>)

En la sección VHP, de manera similar, se ubica la recta perteneciente a 10.000 CPS (viscosidad) (7<sup>o</sup>). La intersección de ésta recta con la línea proyectada de RPM (8<sup>o</sup>) nos permite la lectura de VHP en el eje izquierdo (2.75 HP) (9<sup>o</sup>)

Por último, en la sección NIRP, se ubica la recta perteneciente a 10.000 CPS (viscosidad) (10<sup>o</sup>) y se realiza la intersección con la línea proyectada de RPM (11<sup>o</sup>) para obtener la lectura de NIRP en el eje izquierdo (13.5 PSI)(12<sup>o</sup>)

Figura 22: Página de ejemplo de utilización de diagramas de bombas Waukesha



### 3.1.4 Tiempos de cálculo.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la evaluación de los usuarios sobre el uso de Softkewsha en términos de tiempo en el cálculo de variables en el ejercicio propuesto en el cuestionario para usuario final.

Es posible observar en la Figura 23, los tiempos de respuesta entre la sección 1 (cálculo manual) y la sección 2 (cálculo con software) es visualmente distinto, con mayor dispersión de datos para la sección 1.

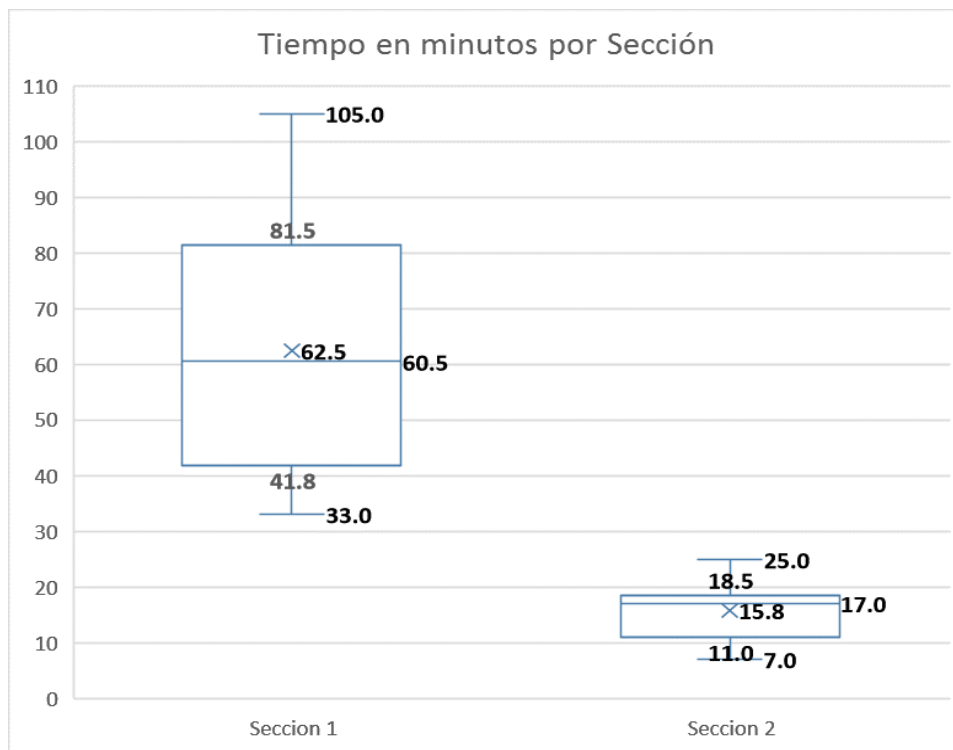


Figura 23: Gráfico Boxplot de los tiempos en minutos por sección

Datos	Sección 1 (manual)	Sección 2 (software)
Media (min)	62.5	15.8
Mediana (min)	60.5	17
Primer cuartil (min)	41.8	11
Tercer cuartil (min)	81.5	18.5
Mínimo (min)	33	7
Máximo (min)	105	25
Desv. Est. (min)	24.3	5.4

Tabla 1: Datos de tiempos en minutos por sección

Observando la tabla de datos n°1 se puede verificar que la desviación estándar es mucho menor para la sección 2 (software), lo que puede implicar también que hay menor diferencia en el tiempo de cálculo entre los participantes, mejorando la homogeneidad entre los tiempos de respuesta, esto es probablemente porque la uso del software es más simple que el cálculo tradicional.

Se realizó una prueba de T-Student para los tiempos de respuesta entre las secciones 1 (manual) y 2 (software). Los resultados de esta prueba que se encuentran en Tabla 2, e indica que los tiempos de respuesta son significativamente diferentes (valor  $p = 0.00$  para un  $\alpha = 0.05$ ), por lo que se podría inferir que el uso del software incide en la disminución del tiempo de cálculo.

**Prueba t para dos muestras independientes / Prueba bilateral:**

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:

Diferencia	46.347
t (Valor observado)	5.014
t  (Valor crítico)	2.131
GL	15
valor-p (bilateral)	0.000
alfa	0.05

Tabla 2: Prueba T-student entre los tiempos de cálculo de las secciones 1 y 2 obtenidos con XLSTAT 2019.1.2 56803

Se descarta el hecho de que los participantes mejorasen el tiempo de respuesta para la segunda sección debido a la familiarización del tipo de ejercicio, ya que para ambas secciones las preguntas fueron distintas como también la forma de resolución.

### 3.1.5 Errores

Para el tratamiento de las respuestas de los usuarios, también se ha considerado la incidencia de errores en las secciones de cálculo manual y calculo con software.

Se considera como errores de cálculo aquellos que implican el uso de unidades equivocadas, mal uso de fórmulas o aritmética errónea, dando resultados con valores distintos al correcto.

Por otra parte, se considera como errores de puntuación en los cuales se cometen faltas en las dimensiones del resultado, es decir, el lugar de la coma o punto en la cifra está en un lugar donde cambia la lectura del dato. Ejemplo : si el resultado correcto fuese 100 psi, un error de puntuación se considera como 0.100 psi, 100.000 psi o 10.000 psi.

Para la sección 1 (manual) se puede observar en la Figura 24, los errores de cálculo representan el 29% de las respuestas, mientras que los errores de puntuación abarcan el 2%.

En la sección 2 (software), observar en en la Figura 24, son considerados errores de cálculo el 7% de las respuestas, mientras que los errores de puntuación alcanzaron un 5%.

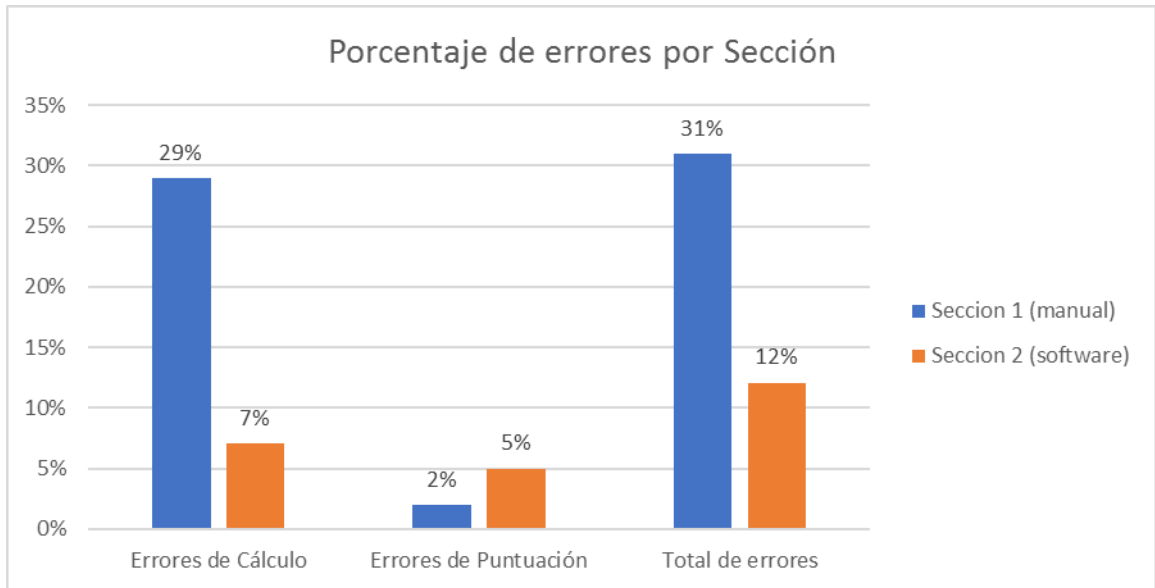


Figura 24: Porcentajes de errores por sección

Se puede deducir que el uso del software ayuda al usuario a disminuir los errores de cálculo para los ejercicios propuestos, sin embargo, esto va acompañado con un aumento en los errores de puntuación.

Si se considera el hecho de que el software no advierte o alerta al usuario de que la separación decimal corresponde a “punto” y no a “coma”, la principal causa del aumento en el porcentaje de errores de puntuación puede ser relacionada. Este requerimiento se puede implementar en la siguiente versión del software.

### 3.1.6 Evaluación Hedónica

#### 3.1.6.1 Respuestas predefinidas

Dentro de los datos recopilados para la sección de evaluación hedónica de la interfaz y funcionamiento del software los usuarios no registraron opciones “negativas”. Es probable que la experiencia de usuario fuese mejor que la expectativa, sin embargo, como se puede ver en la sección de respuestas libres, si es posible encontrar aspectos importantes para la mejora del software.

En la Figura 25, es posible observar que el 30% de los registros fueron de la opción “Fácil de usar”. Esto puede ser debido a que la interfaz es bastante “genérica” respecto a otros programas, donde existen solo 2 botones y el ingreso de datos es solo numérico. Este es un punto a favor en la optimización de campos requeridos para el cálculo, como también fue la opción de “Fácil de instalar”, debido principalmente a que en solo 2 pasos se puede ejecutar el programa (instalación de Java Runtime Environment y la descarga de Softkesha desde la página web [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com)),

Por el contrario, la opción “Buen aspecto” fue la que registro menor puntuación (7%), dado que el trabajo de diseño y en la interfaz fue netamente utilitario, y es

entendible que no sea atractivo para la mayoría de los usuarios. Sin duda es un aspecto en el que se puede trabajar sin incidir directamente en la ejecución de las tareas de la aplicación.

La opción registrada como “Novedoso” con un 17% de los registros, se podría deber a que el software se desarrolló para una tarea específica en el área de elección de equipamientos hidráulicos.

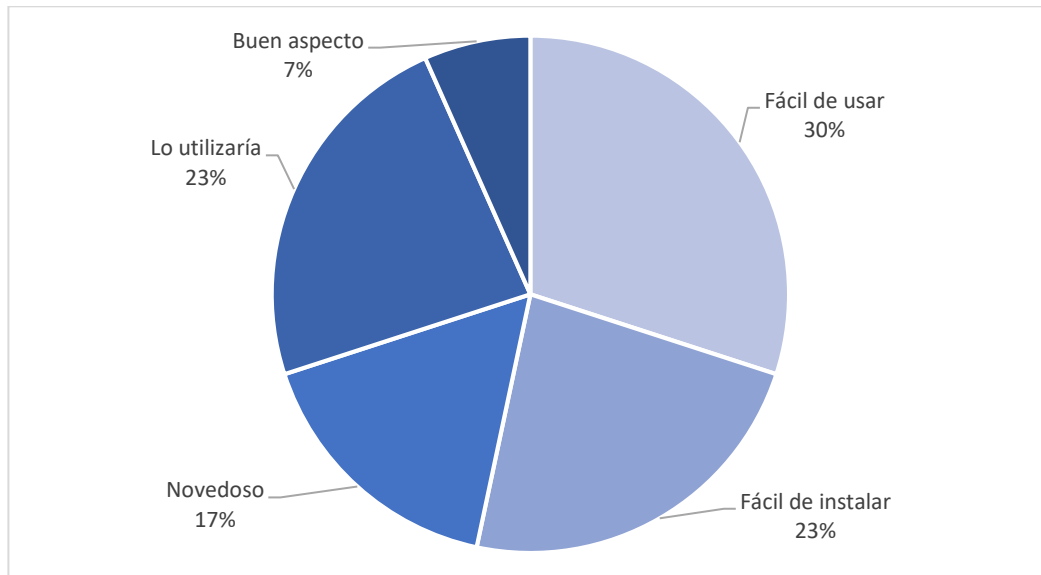


Figura 25: Porcentajes de selección de respuestas hedónicas predefinidas

\*no se registraron respuestas “difícil de usar”, “Mal aspecto”, “Complicado de instalar”, “Anticuado”, “No lo utilizaría”

### 3.1.6.2 Respuestas libres

Para los resultados de la pregunta con respuesta libre, se categorizaron los conceptos en 2 grupos, como Positivos y Negativos como se muestran en la Tabla 3.

Positivos	Negativos
rápido	pocos colores
funcional	sin explicaciones a evento de error
bueno, excelente	sin advertencia de mal ingreso de datos
intuitivo	diferenciación de comas y puntos
útil	mejorar interfaz
adecuado	

Tabla 3: Tabulación de atributos en respuestas libres.

En los aspectos negativos se recalca el diseño del software. A pesar de que en las respuestas predefinidas no hay registros de esta índole, en estos comentarios y relacionando el bajo porcentaje (17%) que obtuvo el ítem “Buen aspecto”, se puede deducir que es posible y necesario el aplicar mayor esfuerzo en el desarrollo estético de la interfaz, tanto en el uso de colores como en la disposición espacial de los campos y botones.

El ingreso de datos de manera errónea no es detectado por el software, es acá donde se realiza un hincapié en el que la detección de errores en el ingreso de datos, es un aspecto importante y funcional del software, ya que este estado no está implementado y es uno de los más importantes en la incidencia de cálculo



erróneo. Se podría advertir anticipadamente al usuario de que el ingreso de datos es numérico y con separación decimal de punto “.” Y no coma “,” , sin embargo existe la posibilidad de realizar esto como un manejo de error, donde el software mismo activa una advertencia indicando al usuario de este incidente.

Dentro de los aspectos positivos que se registran en las respuestas libres, son la rapidez, y usabilidad del software. Es un buen punto, que la simplicidad de uso (o bien la familiaridad del usuario con otros softwares) destaca dentro de estos comentarios.

## CAPÍTULO 4

### Conclusiones

#### 1. Desarrollo de Software

Se ha generado una aplicación ejecutable y estable llamada Softkesha, bajo el sistema operativo Windows, desarrollada en lenguaje JAVA, gracias a la herramienta de desarrollo de interfaz NetBeans. La página web [www.edusoftkesha.com](http://www.edusoftkesha.com) , ha sido creada con el fin de no restringir la disponibilidad a los usuarios de esta aplicación.

#### 2. Disminución de error en la interpretación de diagramas del manual

##### Waukesha

La interpretación de los diagramas de elección de Bombas de desplazamiento positivo Waukesha se ha digitalizado e integrado a la aplicación Softkesha, reduciendo el margen de interpretación de los valores que se extraen de la utilización de estos diagramas.

#### 3. Disminución en tiempo de cálculo de parámetros y unidades

Los tiempos de cálculo de los parámetros, por parte del grupo de usuarios control, para elegir las bombas de desplazamiento positivo Waukesha, se han logrado disminuir significativamente utilizando la aplicación Softkesha.

#### 4. Reducción de errores en el cálculo de parámetros y unidades

Los errores de cálculo de parámetros, por parte del grupo de usuarios control, para la elección de bombas de desplazamiento positivo Waukesha, han disminuido desde un 29% a un 5% utilizando la aplicación Softkesha, sin embargo, los errores de puntuación han aumentado desde un 2% a un 5%.

#### 5. Fácil utilización por parte del grupo de usuarios control

El grupo de usuarios control evaluó la presente versión de Softkesha como una aplicación “Fácil de utilizar”, “Fácil de instalar”, “intuitivo”, “funcional” y con “interfaz poco elaborada”.

#### 6. Retroalimentación por parte del usuario

El grupo de usuarios control identifica algunas brechas de desarrollo de la aplicación Softkesha, como lo es la estética de la interfaz y también en la detección de errores en el ingreso de variables. Estos aspectos son nuevos requerimientos que sin duda nos da una dirección de mejora y nuevas oportunidades de desarrollo, que ayudará a mejorar la experiencia del usuario en las siguientes versiones de la aplicación.

## Bibliografía

- Comunidad de Madrid, Emprendedores. [201-]. ¿QUÉ ES UNA PÁGINA WEB?. [En Línea] <[http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/GuiaEmprendedor/tema7/F49\\_7.9\\_WEB.pdf](http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/GuiaEmprendedor/tema7/F49_7.9_WEB.pdf)>. [Consulta: 11 diciembre 2018]
- Deitel, P. y Deitel, H. 2012. Como programar en Java. Novena Edición. México. Pearson Educación. 10p.
- Fernández, B. 2005. Introducción a la mecánica de fluidos. Cuarta edición. Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 25-27p.
- G.U.N.T. Gerätebau GmbH. 2018. Bombas de desplazamiento positivo. [En Línea]. <[http://www.gunt.de/download/positive%20displacement%20pumps\\_spanish.pdf](http://www.gunt.de/download/positive%20displacement%20pumps_spanish.pdf)>. [Consulta: 05 enero 2019]
- Garro, A. 2014. Java, CAPÍTULO 9 OBJETOS Y CLASES. [En Línea]. <<https://www.arkaitzgarro.com/java/capitulo-9.html>>. [Consulta: 17 enero 2019]
- Hernández, M. 2013. Aplicación de recubrimiento comestible para reducir la absorción de aceite en el proceso de freído de los alimentos. Título de Ingeniería en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 34p.
- Huaranga, E. y Matos, C. 2011. Importancia de los parámetros reologicos de la pulpa de Capulí (*Physalis peruviana* L.) a diferentes Temperaturas de Procesamiento. EN: I CONGRESO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN – IASD. Perú. 2011. UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN. Dirección General de Investigación. 3p.

- Pardo, M. 2013. Diseño, Construcción de una Máquina Fundidora y Mezcladora de Chocolate. Título de Ingeniería Mecánica. Quito. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería. 27p.
- Paz Penín, C. "et al". 2012. Máquinas hidráulicas de desplazamiento positivo. España. Servicio de Publicaciones da Universidade de Vigo. 11p.
- Piquer, J. 1998. EL DNS. [En Línea]. <<https://users.dcc.uchile.cl/~jpiquer/Internet/DNS/node2.html>>. [Consulta: 22 diciembre 2018]
- Rancel, M. 2019. ¿Qué es y para qué sirve Joomla? Un CMS potente e interesante para crear páginas web. [En Línea]. <<https://www.aprenderaprogramar.com/attachments/article/119/CU00403A%20Joomla%20que%20es%20CMS%20crear%20paginas%20web%20software%20libre%20curso%20tutorial.pdf>>. [Consulta: 20 diciembre 2018]
- Reyes, A. 2010. Escurrimiento de Fluidos. Aplicaciones. Editorial USACH. 151-152p. Selección Texto Guía
- Serrano, A. 2014. Hidráulica. [En Línea]. Slideshare. <<https://es.slideshare.net/marceloandresserranoalcon/hidrulica-41147712>>. [Consulta: 03 diciembre 2018]
- Softwero. Diagrama de clases. 2017. [En línea]. Softwero Pasión por el Software. Agosto, 2017. <<http://www.softwero.com/2017/08/los-13-diagramas-uml-y-sus-componentes-1.html>>. [Consulta: 20 diciembre 2018]
- SPX FLOW, inc. 2015. Wawkesha Cherry-Burrell Rotary Positive Displacement Pumps, Engineering Manual. Publication 604. USA. 30p

- Suárez, M. 2008. ¿Qué es programar en educación?. [En Línea]. Revista digital Eduinnova. 5 de diciembre, 2008. <<http://www.eduinnova.es/dic08/QUE%20ES%20PROGRAMAR%20EN%20EDUCACION.pdf>> [consulta: 27 abril 2019]
- Tecnologías de Información. 2014. Hosting: Definicion de Hospedaje Web o Alojamiento Web. [En Línea]. <<http://tiwindows-renan.blogspot.com/2014/06/hosting-definicion-de-hospedaje-web-o.html>>. [Consulta: 17 enero 2019]
- The Apache Software Foundation. Bienvenido a NetBeans. [En línea]. <[https://netbeans.org/index\\_es.html](https://netbeans.org/index_es.html)>. [Consulta: 14 noviembre 2018]
- Tutoriales Ingeniería Civil. [201-]. Las Pérdidas de Energía, Parte I: Pérdidas por Fricción. [En Línea] <<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93parte-i-perdidas-por-friccion/>> [Consulta: 28 diciembre 2018]

## [Anexo 1: Cálculo de producción](#)

#### Cálculo de densidad (EJEMPLO)

- Según Castro y Guarda (1986), para salsa de tomates la densidad es dada por:

$$\rho = 62.4 * (0.44Xs + 0.997)$$

- Donde  $\rho$  es la densidad del fluido en lb/pie<sup>3</sup> y Xs es la cantidad de solidos solubles en porcentual.

#### Índice de Flujo (EJEMPLO)

- Según (Castro, 2009) para un fluido de 25°Brix a 90°C y una densidad de 1.108 kg/L

#### Índice de Flujo ( $\eta$ )

Ley de potencia (simple) 0.1808

#### Índice de consistencia ( $\kappa$ )

Ley de potencia (simple) 63.5789

#### Cálculo de flujo másico

**Flujo Másico = M= kg/**

$$\text{Caudal} = Q = \frac{M}{\rho} \quad , \text{ con } \rho = \textit{densidad}$$

#### Velocidad de flujo

Determinada por :  $V = \frac{4 M}{\pi \rho D^2}$  donde M= flujo Másico,  $\rho$  = densidad, D= diámetro de tubería

Reynolds generalizado

$$Reg = \left( \frac{D^\eta \cdot V^{2-\eta} \cdot \rho}{8^{\eta-1} \cdot \kappa} \right) \cdot \left( \frac{4 \eta}{1+3\eta} \right)^\eta$$

donde D= diámetro, V= velocidad de flujo,  $\rho$ =densidad,  $\kappa$ = índice de consistencia y  $\eta$ = índice de Flujo. (Castro, 1993)

Si el flujo se considera laminar Implica:

Fricción de Fanning :  $f = \frac{16}{Reg}$  (simplificación ley de potencia)

Viscosidad efectiva

$$\mu_e = \frac{f \cdot M}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot Gc}$$

donde, f=fricción de Fanning, M= flujo másico, D: diámetro tubería, Gc: factor de prop.  
=1

$$\begin{aligned} \text{ejemplo : } \mu_e &= \frac{0.4263 \cdot 20000}{4 \cdot \pi \cdot 0.0762 \cdot 1} \frac{kg}{h \cdot m} = 8903 \frac{kg}{h \cdot m} = 24.773 \frac{g}{s \cdot cm} \\ &= 24.773 \text{ poise} = 2477.3 \text{ cp} \end{aligned}$$

$$\mu_e = 2477 \text{ cp}$$

Pérdida por roce

$$P_{roce} = \text{longitud de tubería} * F$$

O bien \*"pipe frictional loss graph"



Pérdida de presión estática

$$Pe = Z \cdot \frac{62,4}{144} \cdot Gs \quad \text{donde } z: \text{ altura en pies, } Gs: \text{ gravedad específica}$$

Pérdida de presión total

$$Pt = P \text{ roce} + Pe + P \text{ equipamiento}$$

Ganancia de presión estática

$$Pe = Z \cdot \frac{62,4}{144} \cdot Gs \quad \text{donde } z: \text{ altura en pies, } Gs: \text{ gravedad específica}$$

Presión estática disponible

$$PED = Pe + P \text{ atmosférica} + P \text{ sistema}$$

Presión de entrada

$$P \text{ entrada} = PED - P \text{ roce}$$

NIPA

$$NIPA = P \text{ entrada} - P \text{ vapor}$$

HP

Gráfico bombas

$$HP = WHP + VHP =$$

Eficiencia

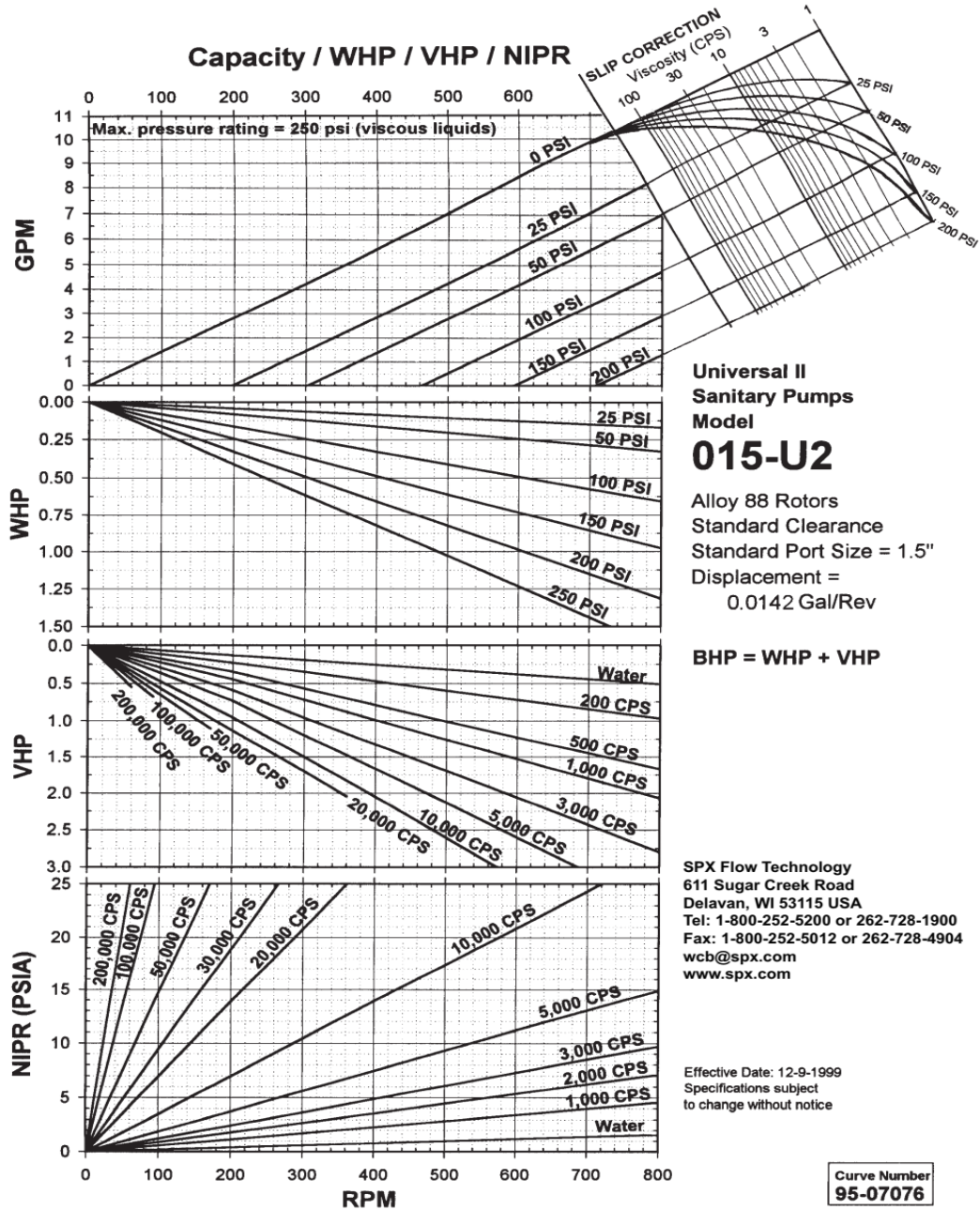
$$EF1 = \frac{WHP}{HP} \cdot 100$$

$$EF2 = \left( \frac{\frac{GPM \cdot \Delta P}{1714}}{WHP + VHP} \right) * 100$$

Torque

$$\tau = \frac{HP \cdot 5250}{N} \text{ donde N: revoluciones por minuto (RPM)}$$

Anexo 2 : Diagrama de bomba de desplazamiento positivo modelo 015-U2



## Anexo 3 : Validación de Softkesha, Formularios de Google

### Validación de Softkesha

Este cuestionario tiene el propósito de validar el software softkesha mediante el uso de cálculos realizados por los usuarios finales.

Las preguntas son de selección múltiple, sin embargo, su respuesta puede no coincidir con las opciones entregadas, por lo que su respuesta puede ser ingresada en la opción "OTRO: \_\_\_\_\_"

\*Obligatorio

1. Dirección de correo electrónico \*

\_\_\_\_\_

2. Nombre y Apellido \*

\_\_\_\_\_

3. ¿Qué año cursa de la carrera de Ingeniería en Alimentos? \*

*Marca solo un óvalo.*

- Cuarto Año
- Quinto Año
- Egresado
- Titulado

### PARTE 1 : Cálculo de parámetros

**Desde esta sección necesitará utilizar hojas de papel, lápiz, calculadora científica y el manual de Waukesha. Esté atento a las unidades de los parámetros y sus conversiones.**

---

4. Día de hoy \*

\_\_\_\_\_ *Ejemplo: 15 de diciembre de 2012*

5. Hora de inicio \*

\_\_\_\_\_ *Ejemplo: 8:30 a. m.*

**Para la elaboración de 10 ton/día de concentrado de jugo de frambuesa 25 brix calcule:**

---

6. Flujo másico \*

**Flujo Másico = M = kg/h**

Marca solo un óvalo.

- 833 kg/h  
 1250 kg/h  
 2000 kg/h  
 240 kg/h  
 Otros: \_\_\_\_\_

7. Con una densidad = 1.2 kg/L Calcule Caudal (Q) \*

$$\text{Caudal} = Q = \frac{M}{\rho} \quad \text{con } \rho = \text{densidad}$$

Marca solo un óvalo.

- 3000 L/h  
 1800 L/h  
 1250 L/h  
 1500 L/h  
 Otros: \_\_\_\_\_

8. Calcule los Galones por minuto (GPM), donde Q = 1500 kg/h y una densidad = 1.2 kg/L \*

Marca solo un óvalo.

- 5678 gpm  
 396 gpm  
 94,6 gpm  
 6.6 gpm  
 Otros: \_\_\_\_\_

**Según:**

---

M = 1500 kg/h

Densidad = 1200 kg/m<sup>3</sup>

Diámetro = 1 pulgada

9. Calcule Velocidad de flujo (V) \*

$$V = \frac{4M}{\pi \rho D^2} \quad \text{donde M= flujo Másico, } \rho = \text{densidad, D= diámetro de tubería}$$

Marca solo un óvalo.

- 0.685 m/s  
 6.85 m/s  
 68.5 m/s  
 685 m/s  
 Otros: \_\_\_\_\_

## Según

---

D = 1 pulgada

V = 0.742 m/s

Densidad : 1200 kg/m<sup>3</sup>

índice de consistencia = 82.669 pas n

índice de flujo = 0.211

10. Calcule Reynolds generalizado (Reg): \*

$$Reg = \left( \frac{D^\eta \cdot V^{2-\eta} \cdot \rho}{8^{\eta-1} \cdot \kappa} \right) \cdot \left( \frac{4 \eta}{1+3\eta} \right)^\eta$$

D= diámetro,

V= velocidad de flujo,

ρ=densidad

κ= índice de consistencia

η= índice de Flujo

Marca solo un óvalo.

- entre 0 y 100 (sin dimensión)  
 entre 101 y 1000 (sin dimensión)  
 entre 1001 y 4000 (sin dimensión)  
 entre 4001 y 100.000 (sin dimensión)  
 Otros: \_\_\_\_\_

## Según:

---

f = 0.09

M = 15 ton/h

Diámetro = 1 pulgada

11. Calcule Viscosidad efectiva (Ue): \*

$$\mu_e = \frac{f \cdot M}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot G_c}$$

donde, f=fricción de Fanning, M= flujo másico, D: diámetro tubería, Gc: factor de prop. =1

$$\text{ejemplo: } \mu_e = \frac{0.4263 \cdot 20000}{4 \cdot \pi \cdot 0.0762 \cdot 1} \frac{kg}{h \cdot m} = 8903 \frac{kg}{h \cdot m} = 24.773 \frac{g}{s \cdot cm}$$
$$= 24.773 \text{ poise} = 2477.3 \text{ cp}$$

$$\mu_e = 2477 \text{ cp}$$

Marca solo un óvalo.

- 4230 cp
- 1175 cp
- 11.75 cp
- 117.5 cp
- Otros: \_\_\_\_\_

### PARTE 3 cálculos con diagramas

**Considerando los siguientes parámetros, obtenga desde la curva de desempeño de la bomba 018-U2**

---

Galones por minuto = 10.5 gpm

Diferencial de presión = 100 psi

Viscosidad efectiva = 5000 CPS

===EJEMPLO DE USO DE DIAGRAMA==

<http://edusoftkasha.com/ejemplos>

===CURVA DE DESEMPEÑO 018-U2===

[http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/95-07077\\_U2model018.pdf](http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/95-07077_U2model018.pdf)

==MANUAL COMPLETO WAUKESHA====

[http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/MM%20604\\_Eng\\_Manual\\_02-2015\\_tcm11-10900.pdf](http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/MM%20604_Eng_Manual_02-2015_tcm11-10900.pdf)

12. RPM \*

\_\_\_\_\_

13. WHP \*

\_\_\_\_\_

14. VHP \*

---

15. NIRP \*

---

## Parte 4. Cálculos con Softkesha

16. \*

---

*Ejemplo: 15 de diciembre de 2012*

17.

---

*Ejemplo: 8:30 a. m.*

## DESCARGUE SOFTKESHA

---

Para obtener el software realice los siguientes pasos :

Si usted no ha instalado el complemento JAVA en su computadora puede descargarlo en <https://www.java.com/es/download/> o bien buscar con su navegador favorito la palabra JAVA Este complemento es necesario para ejecutar Softkesha

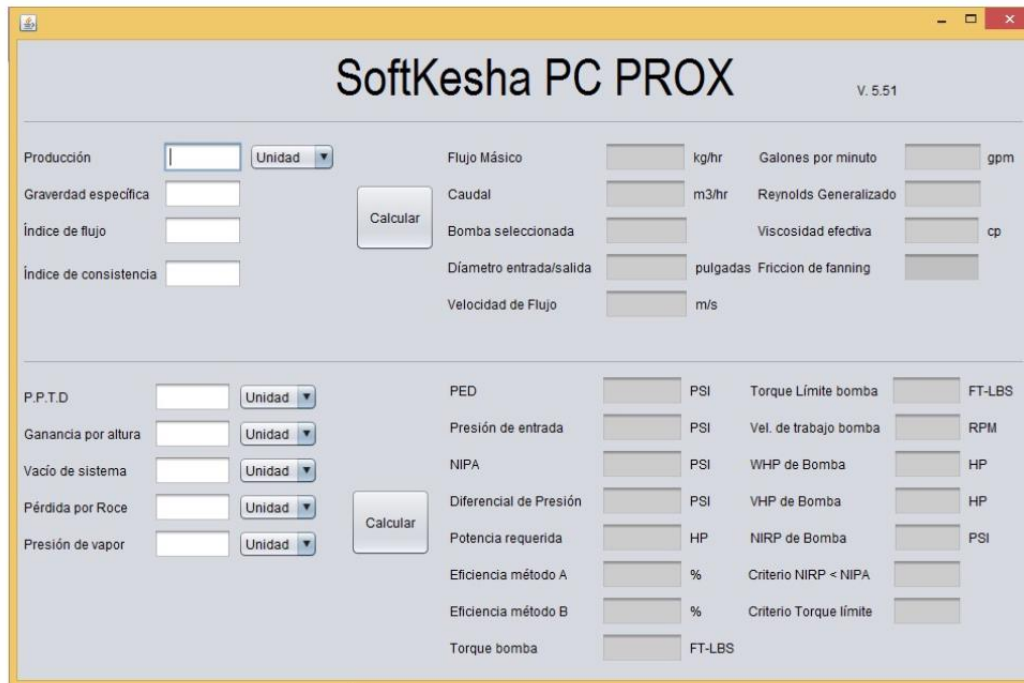
Ingresa a : <http://www.edusoftkesha.com/descargas>

Descargue SOFTKESHA PC PROX (es gestionado por un enlace externo, [www.box.com](http://www.box.com)) (Al descargar probablemente el navegador dará una alerta, esto es normal para software en desarrollo, acceda a descargar SKproxGO.jar)

una vez instalado JAVA y descargado SKproxGO.jar :

ejecute el SKproxGO.jar, deberá aparecer la siguiente ventana:





## Ingrese los siguientes parámetros en SOFTKESHA PC PROX

Producción = 38 toneladas diarias

Gravedad específica = 1.2

índice de flujo = 0.211

Índice de consistencia = 60.1

P.P.T.D. (Pérdida de presión total de descarga) = 4 psi

Ganancia por altura = 3.5 psi

Vacío de sistema = 2 psi

Pérdida por roce = 0.8 psi

Presión de vapor = 1.5 psi

## Qué valores generó SOFTKESHA?

### (primera sección)

#### 18. Flujo másico \*

\_\_\_\_\_

19. Caudal \*

---

20. Galones por minuto \*

---

21. Bomba seleccionada \*

---

22. Diámetro de Entrada/Salida \*

---

23. Velocidad de flujo \*

---

24. Reynolds Generalizado \*

---

25. Viscosidad efectiva \*

---

26. Fricción de Fanning \*

---

## **(SEGUNDA SECCIÓN)**

---

27. PED \*

---

28. Presión de entrada \*

---

29. NIPA \*

---

30. Diferencial de presión \*

---

31. Potencia requerida \*

---

32. Eficiencia método A \*

---

33. Eficiencia método B \*

---

34. Torque bomba \*

---

35. Torque límite bomba \*

---

36. vel. de trabajo bomba \*

---

37. WHP de bomba \*

---

38. VHP de bomba \*

---

39. NIRP de bomba \*

---

40. Criterio NIRP < NIPA \*

---

41. Criterio Torque Límite \*

---

**Sobre la utilización de SOFTKESHA**

42. **¿Que te pareció el desarrollo del software que utilizaste en la sección anterior? \***

*Selecciona todas las opciones que correspondan.*

- Lo utilizaría
- Facil de usar
- Fácil de instalar
- Mal aspecto
- Anticuado
- No lo utilizaría
- Buen aspecto
- Complicado de instalar
- Difícil de usar
- Novedoso

43. **Otros comentarios**

---

---

---

---

---

**Ha finalizado !!**

Dentro de las próximas horas recibirá un correo confirmando el ingreso de sus respuestas y la entrega del presente por realizar este formulario.

Muchísimas gracias

44. \*


*Ejemplo: 15 de diciembre de 2012*

45. \*

*Ejemplo: 8:30 a. m.*

Recibir una copia de mis respuestas

---

Con la tecnología de  
 Google Forms

## Anexo 4 : Diagramas UML

BaseDatosBombas
Agmp : ArrayList <gpm>
Amodelo : ArrayList <modelo de bomba>
Diametro : ArrayList <diámetro>
NIRPs : ArrayList <nirp>
RPM : ArrayList <rpm>
TorLimite : ArrayList <torque>
VHPs : ArrayList <vhp>
WHPs : ArrayList <whp>
nirp006cps : ArrayList <pendiente>
nirp015cps : ArrayList <pendiente>
nirp018cps : ArrayList <pendiente>
nirp030cps : ArrayList <pendiente>
nirp060cps : ArrayList <pendiente>
nirp130cps : ArrayList <pendiente>
nirp220cps : ArrayList <pendiente>
nirp320cps : ArrayList <pendiente>
nirp006rpm : ArrayList <pendiente>
nirp015rpm : ArrayList <pendiente>
nirp018rpm : ArrayList <pendiente>
nirp030rpm : ArrayList <pendiente>
nirp060rpm : ArrayList <pendiente>
nirp130rpm : ArrayList <pendiente>
nirp220rpm : ArrayList <pendiente>
nirp320rpm : ArrayList <pendiente>
vhp006cps : ArrayList <pendiente>
vhp015cps : ArrayList <pendiente>
vhp018cps : ArrayList <pendiente>
vhp030cps : ArrayList <pendiente>
vhp060cps : ArrayList <pendiente>
vhp130cps : ArrayList <pendiente>
vhp220cps : ArrayList <pendiente>
vhp320cps : ArrayList <pendiente>
vhp006rpm : ArrayList <pendiente>
vhp015rpm : ArrayList <pendiente>
vhp018rpm : ArrayList <pendiente>
vhp030rpm : ArrayList <pendiente>
vhp060rpm : ArrayList <pendiente>
vhp130rpm : ArrayList <pendiente>
vhp220rpm : ArrayList <pendiente>
vhp320rpm : ArrayList <pendiente>
whp006psi : ArrayList <pendiente>
whp015psi : ArrayList <pendiente>
whp018psi : ArrayList <pendiente>
whp030psi : ArrayList <pendiente>
whp060psi : ArrayList <pendiente>
whp130psi : ArrayList <pendiente>
whp220psi : ArrayList <pendiente>
whp320psi : ArrayList <pendiente>
whp006rpm : ArrayList <pendiente>
whp015rpm : ArrayList <pendiente>
whp018rpm : ArrayList <pendiente>
whp030rpm : ArrayList <pendiente>
whp060rpm : ArrayList <pendiente>
whp130rpm : ArrayList <pendiente>
whp220rpm : ArrayList <pendiente>
whp320rpm : ArrayList <pendiente>

ComposBoxes
FactorMasaTiempo : double
FactorPresion: double
<b>factoreo(double factor, double dimension) : double</b>
<b>unidadMasaTiempo(int unidad) : double</b>
<b>unidadPresion(int unidad) : double</b>

## Operaciones

critero : string

bombaelegida : string

bombaelegida2 : int

bombaSeleccionada(double elegbomba, double gPM) : String

diametro(double elegbomba, double gPM) : double

opCaudal(double flujoMasico, double gravedadEspecific) : double

opCriterioNIRP(double NIRP, double NIPA) : String

opCriterioTorque(double torque, double torqueLim) : String

opDiferencialPresion(double perdidaDescarga, double presionEntrada) : double

opEFA(double WHP, double VHP) : double

opEFB(double gPM, double DiferencialPresion, double HP) : double

opFriccion(double diametro, double indiceDeFlujo, double indiceDeConsistencia, double velocidad, double gravedadEspecific) : double

opGPM(double caudal) : double

opNIPA(double presionEntrada, double presionVapor) : double

opPED(double gananciaAltura, double vacio) : double

opPotencia(double WHP, double VHP) : double

opPresionEntrada(double PED, double perdidaRoce) : double

opTorque(double HP, double RPM) : double

opVelocidad(double flujoMasico, double gravedadEspecific, double diametro) : double

opViscosidad(double flujoMasico, double diametro, double indiceDeFlujo, double indiceDeConsistencia, double velocidad, double gravedadEspecific) : double

opreynolds(double diametro, double indiceDeFlujo, double indiceDeConsistencia, double velocidad, double gravedadEspecific) : double