

Diseño de instalación de recuperación de agua caliente y tratamiento de gases

Joaquín Carabelli

Ingeniería Mecánica UTN, Buenos Aires
Tutor Diego Caputo

Contacto: joaquinCARABELLI@frba.utn.edu.ar



RESUMEN

Se diseña, analiza y calcula una instalación que facilite la recuperación de agua caliente proveniente de procesos de teñido y termofijado textil, además de asegurar el abastecimiento constante de agua de refrigeración al intercambiador de calor de un equipo de tratamiento de gases de escape de dos máquinas de termofijado. Este proyecto será llevado a cabo en una fábrica textil ubicada en Rio Grande, provincia de Tierra del Fuego. Para esto se realizará, utilizando herramientas de mecánica de los fluidos y termodinámica, la selección de los equipos necesarios, disposición de tuberías y cálculo para dimensionamiento de éstas, tomando conocimiento de los distintos parámetros de los procesos intervinientes.

ABSTRACT

We design, analyze and calculate an installation that facilitates the recovery of hot water from textile dyeing and thermosetting processes, in addition to ensuring the constant supply of cooling water to the heat exchanger of a piece of equipment. treatment of exhaust gases from two heat-setting machines; This project will be carried out at a textile factory, located in Rio Grande, Tierra del Fuego province. For this, using fluid mechanics and thermodynamics tools, the selection of the necessary equipment, pipe arrangement and calculation for their sizing will be carried out, already having knowledge of the different parameters of the intervening processes.

Palabras clave: Ahorro de energía, cálculo de cañerías, eficiencia industrial, eficiencia en industria textil.

INTRODUCCIÓN

La fábrica textil para la que se realizó el presente estudio dispone de un equipo de tratamiento de gases de escape llamado Klean, que recibe los gases provenientes de dos máquinas de termofijado. Este proceso en su etapa primaria utiliza agua como refrigerante en un intercambiador de calor, para lograr la precipitación de los vapores de aceite disueltos en los gases de escape antes de que ingresen a la etapa secundaria de separación electrostática. Es fundamental en este proceso garantizar el abastecimiento constante de agua de refrigeración. Este constituye uno de los objetivos del proyecto, ya que, si el enfriador primario no funciona, los gases llegarían a la etapa secundaria con mayor temperatura de la debida, accionando el sistema extintor de incendios dentro del equipo. Por otro lado, como consecuencia del enfriamiento de gases en el Klean y del enfriamiento del baño en los procesos de teñido, se obtiene agua caliente aproximadamente a 60°C, la cual puede ser recuperada y utilizada para alimentar las máquinas de teñir, siendo ésta otra finalidad para hacer más eficiente el proceso.-

DESARROLLO

Las distintas telas tienen impregnado un aceite desde la confección del hilado, el cual no se elimina en los procesos de lavado. Al calentarlas para termo fijarlas, este aceite se evapora y es arrastrado con el flujo de aire caliente. El Klean se encarga de separar los vapores de aceite disueltos en los gases para que éstos no sean expulsados a la atmósfera. Esto se logra con una etapa primaria en la cual los gases se enfrían en un intercambiador de calor sin mezcla y precipita una parte de los vapores de aceite. Luego se tiene una etapa secundaria de separación electrostática mediante electrodos de 6500 VCC, en la cual se separan los vapores de aceite que no llegaron a precipitar. La combinación de aceite (combustible) y alta tensión, puede generar riesgo de incendio; por ello este equipo trae incorporado un fusible térmico que actúa como protección para que, en caso de que por algún motivo no se enfríen los gases en la etapa primaria y lleguen a la zona de electrodos con elevada temperatura. Dicho fusible se abre activando el sistema de rociadores contra incendio que está dentro de la etapa secundaria. Al activarse este sistema se cierran dos damper cortafuego NC (normal cerrado), que aíslan el equipo e impiden el ingreso de oxígeno, abriéndose simultáneamente otro damper, que deja salir los gases a la atmósfera hasta revertir esta anormal situación. Dentro de los problemas detectados, uno de los más importantes resulta la posibilidad de perder el suministro de agua al Klean, lo que provocaría la activa-

ción del sistema de incendio dentro del mismo. Para solucionar esta problemática se propone construir un tanque de reserva (TK1) de agua para el Klean, independiente de la cisterna general de la planta (TK2). Este es llenado por una bomba (B5) que extrae agua de la napa subterránea, y por rebalse se abastece a la cisterna general de planta, asegurando que siempre se tenga lleno el tanque de reserva del Klean, proveyendo hasta 6 horas de funcionamiento continuo. Luego, el agua de refrigeración del Klean que se ha calentado, retorna a un tanque de agua recuperada (TK4) para poder utilizarse y aprovechar su energía térmica en otro proceso.

Por otro lado, se tienen las máquinas de teñir, que en las distintas etapas del proceso van realizando cargas y descargas de agua fría y caliente. También poseen un intercambiador de calor de casco y tubos de doble función (el cual puede enfriar y calentar el baño de tintura). En estas máquinas también se obtiene a la salida del intercambiador de calor, en los procesos de enfriamiento del baño, agua de refrigeración que ha sido calentada, la cual se quiere recuperar y almacenar en el tanque de agua recuperada. El objetivo que se persigue es el de aprovechar la energía térmica residual, de la misma forma que aquella que proviene del Klean. El agua recuperada, posteriormente se utilizará para las cargas de agua caliente de las máquinas de teñir. Dichas cargas requieren una temperatura mínima de 60°C, por ende, esa será la temperatura a la cual se quiere recuperar el agua proveniente de los distintos enfriamientos. Esto haría más eficiente el teñido ya que al entregarle a la máquina el agua a la temperatura que debe usarla, se ahorra el tiempo y la energía empleada en calentarla con vapor dentro del intercambiador de calor. En caso de que por algún motivo no se tenga agua recuperada o se deba realizar mantenimiento en la bomba de agua caliente, se planteará un sistema de by pass con el cual se presurizará la línea de agua caliente con agua fría, aumentando el tiempo total de proceso debido a la necesidad de calentar el agua en la máquina, pero evitando que se detenga la máquina por falta de agua.

Para este proyecto será necesario determinar las cañerías a utilizar para agua recuperada, agua caliente y agua fría, sus largos y accesorios, para luego poder determinar las pérdidas de carga y con ello calcular las bombas necesarias en las distintas partes de la instalación.

Para iniciar con el cálculo y diseño de la instalación se deben identificar previamente los puntos de consumo a los cuales se debe abastecer con agua fría y/o agua caliente, y los puntos de retorno de agua recuperada. Puede verse en la figura 1, un esquema unifilar de la instalación a modo orientativo, donde se representa a todas las máquinas de teñir en una sola para simplificar la comprensión.

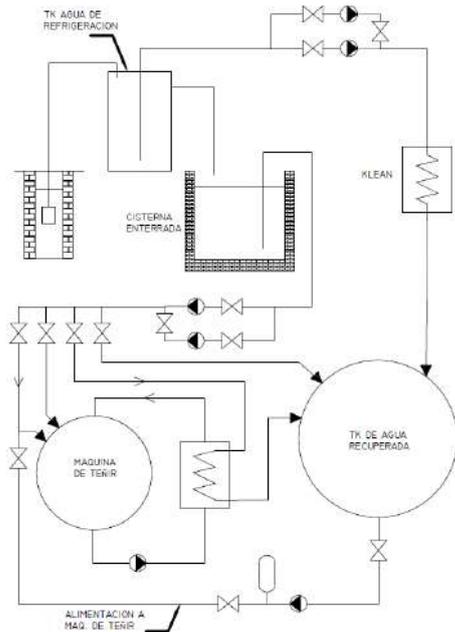


Figura 1: Unifilar de la instalación.

Los caudales necesarios de agua de refrigeración se determinarán en función del caudal másico de agua o gases a enfriar, y la diferencia de temperaturas que debe generarse en el baño de tintura y en los gases de escape.

En el lay-out mostrado en la figura 2, se puede observar la ubicación de las cañerías, las máquinas de teñir (1-5), las dos máquinas de termofijado (6 y 7), el Klean, los tanques y bombas involucradas en el proyecto. Las cañerías de color azul representan agua fría, el color rojo indica agua caliente y color verde significa agua caliente recuperada de los intercambiadores de calor.

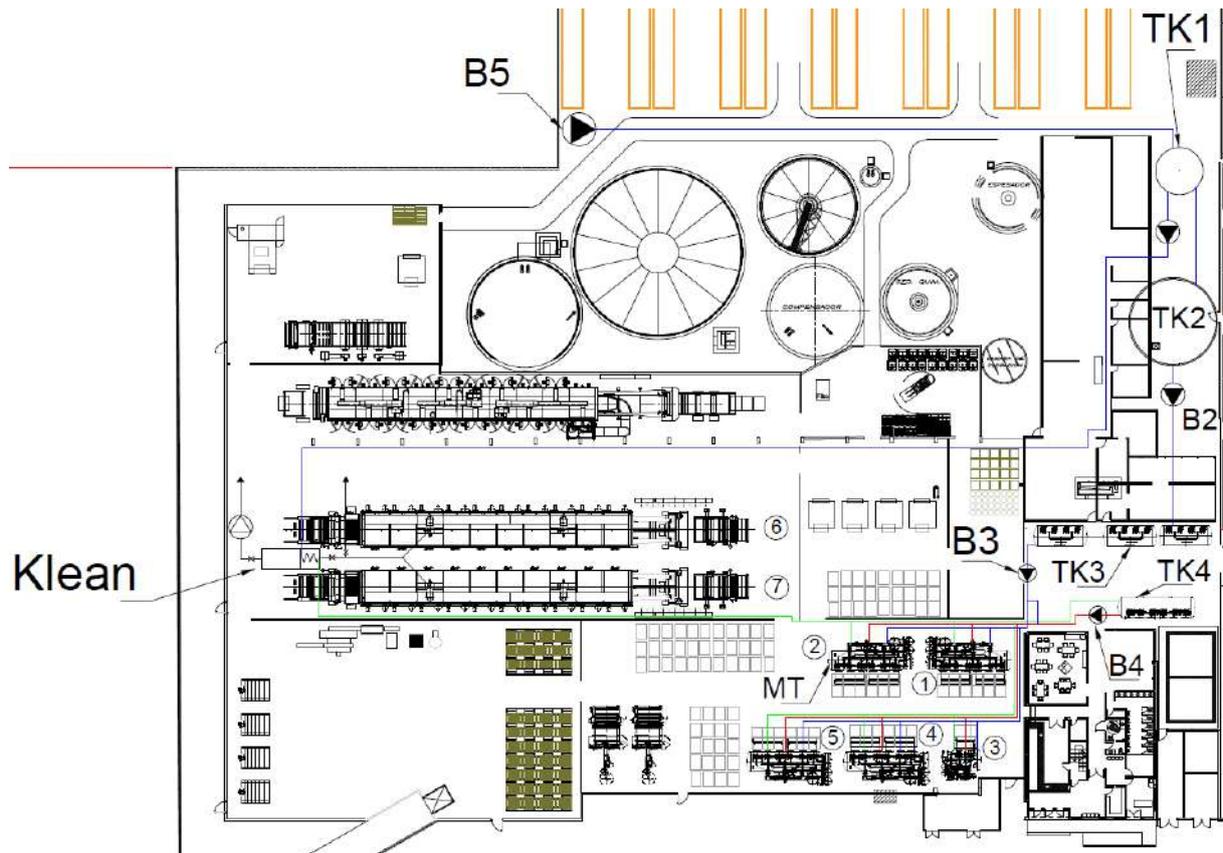


Figura 2: Layout de planta.

Determinación de caudales de enfriamiento

Una vez definida la distribución de cañerías y tanques en función de la disposición de máquinas y equipos dentro de la planta, se procede a la determinación de los caudales necesarios para la refrigeración del Klean y de las máquinas de teñir. Luego, con estos datos se podrá obtener el volumen necesario para el tanque de reserva para el Klean y continuar con la selección de cañerías para una determinada velocidad de circulación del fluido.

Se sabe que el caudal de gases "Gg" a extraer de las máquinas de termofijado es de 32.000 m³/h, la temperatura de ingreso y salida de los mismos al Klean es de 185°C y 80°C respectivamente, estos tienen una densidad de 1 kg/m³ y un calor específico de 0,24 kcal/kg°C. Para obtener el caudal de agua de refrigeración del Klean "Ga", se debe calcular la transferencia de calor efectuada en el mismo, aplicando el primer principio de la termodinámica para sistemas abiertos en régimen permanente (SARP). El modelo teórico utilizado se basa en la ecuación general de energía para un sistema abierto, García [1]. Se considera para el agua un calor específico de 1 kcal/kg°C y temperaturas de ingreso y salida del intercambiador de calor de 15°C y 60°C respectivamente y se iguala el calor "q" a extraer de dichos gases con el calor absorbido por el agua como.

$$q_{gases} [kcal] = q_{agua} [kcal] \quad (1)$$

$$Gg * cp_g * \Delta T_{gases} = Ga * cp_a * \Delta T_{agua}$$

Obteniéndose de esta manera un caudal necesario de agua de refrigeración para el Klean de 18 m³/h, lo cual indica que, para abastecer continuamente a este equipo por 6 horas, el tanque 1 debe tener una capacidad de 110 m³. A dicho volumen se le adiciona un 20% para permitir que funcione un control automático de nivel por sobre la altura de desborde (5 m), permitiendo un 10% de vaciado de tanque, siendo entonces el volumen definitivo del tanque de unos 135 m³. La altura necesaria para dicho tanque se obtiene como: $H_{TK} = \text{Área} / \text{Volumen}$, siendo finalmente 5 m la altura y 6 m el diámetro del tanque a construir para alimentar al Klean.

Por otro lado, se analizan ahora las máquinas de teñir para determinar el caudal de cargas tanto de agua caliente como de agua fría, y el calor que se necesita extraer en los enfriamientos para determinar el caudal de agua de refrigeración en las mismas. A los efectos del cálculo térmico se considerará a las cinco máquinas de teñir como si fuera una sola máquina con la misma capacidad de procesamiento que la sumatoria de las cinco. Se tiene como dato que por cada kg de tela una máquina

de teñir utiliza 5 kg de agua, es decir que tiene una relación de baño (RB) de 5:1.

Se tienen en total 4 máquinas de teñir de 1.200 kg, y una máquina de 400 kg de capacidad, por lo tanto, la capacidad total de tela a procesar es de 5.200 kg. Lo cual indica que para llenar las máquinas se necesitarían 26.000 kg de agua, calculado como se indica en (2):

$$G_{AGUA} = G_{TELA} * RB \quad (2)$$

Las curvas de tintura típicas brindadas por el fabricante de las máquinas de teñir, muestran los distintos enfriamientos necesarios en cada proceso. Como se ve en la figura 3, el teñido de algodón tiene 3 enfriamientos con un gradiente de 3°C/min y con un diferencial total de temperatura de 66°C. En cambio, como puede verse en la figura 4, para el polyester se tiene un enfriamiento con un diferencial térmico de 60°C y un gradiente de 60°C/min.

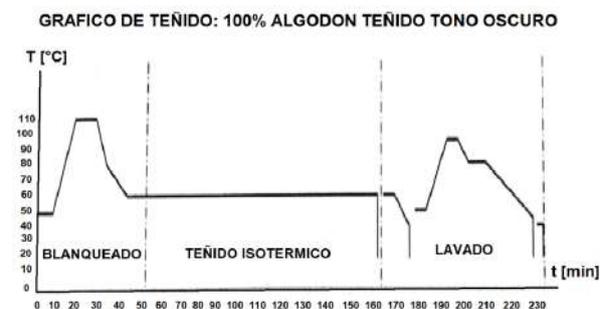


Figura 3: Curva de tintura de algodón. Adaptada de "Dani-Evo: There is no better way to dye", por Danitech, 2020, 11. [2]

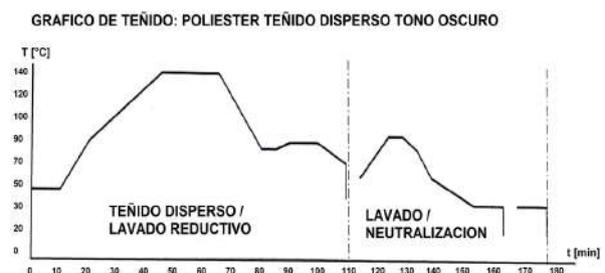


Figura 4: Curva de tintura de polyester. Adaptada de "Dani-Evo: There is no better way to dye", por Danitech, 2020, 12. [3]

Para calcular el calor a extraer en los enfriamientos durante el teñido, se aplica el primer principio de la termodinámica para SARP. Se utiliza la ecuación (3), donde G_b es la masa de baño de tintura, y ΔT_b es el diferencial de temperaturas al que se somete el baño en el enfriamiento.

$$q_e [kcal] = G_b [kg] * cp \left[\frac{kcal}{kg} \cdot ^\circ C \right] * \Delta T_b [^\circ C] \quad (3)$$

De esta manera se obtiene que el calor a extraer de cada ciclo de teñido de algodón es de 1.716.000 kcal, mientras que en el teñido de polyester asciende a 1.560.000 kcal. Afectadas por los respectivos tiempos que demora cada enfriamiento resultan en intercambios de calor de 4.680.000 kcal/h para algodón y 1.560.000 kcal/h para el polyester. La fábrica produce en el día 2 ciclos de algodón y 2 de polyester, por lo tanto, para calcular el caudal de enfriamiento se considerará la situación de mayor requerimiento de agua, representado por el tratamiento del algodón. Hasta aquí se ha considerado como si todas las máquinas de teñir estuvieran realizando el proceso al mismo tiempo. Para el cálculo de caudales se opta por considerar una superposición del 50 % entre las maquinas, por ende, se tiene que el caudal de agua de enfriamiento se debe calcular con la mitad del valor obtenido de caudal calorífico, según se muestra en (4):

$$Q_e \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{q_e / 2 \text{ [kcal/h]}}{cp \left[\frac{kcal}{kg^\circ C} \right] * \Delta T_b \text{ [}^\circ C\text{]} * \rho_{agua} \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \quad (4)$$

$$Q_e \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{4.680.000 / 2 \text{ [kcal/h]}}{1 \left[\frac{kcal}{kg^\circ C} \right] * (60 - 15) [^\circ C] * 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$Q_e = 52 \frac{m^3}{h}$$

Siendo ρ_{agua} la densidad del agua (1000 kg/m³), Q_e el caudal de agua de refrigeración, y considerando que la temperatura del agua aumenta desde la temperatura ambiente (15 °C) hasta la temperatura que se quiere recuperar la misma (60°C). Se tiene entonces, que el caudal a utilizar para dimensionar las cañerías de agua recuperada de tintorería es 52 m³/h para los tramos donde hay más de 2 máquinas, y la mitad para los tramos donde hay solo una máquina (esto debido a la superposición considerada).

Además, deben determinarse los caudales de cargas de agua fría/caliente, los cuales van a ser iguales, ya que dependen de la cantidad de agua que ingresa a la máquina y del tiempo que tarda en llenarse. Obteniendo datos del sistema que interconecta a la máquinas, se conoce que el tiempo de llenado para cualquiera de las maquinas es de 7 minutos. Conociendo la cantidad de agua que debe cargarse (26 m³) por cada llenado, obtenemos el caudal de cargas " Q_c " de agua fría/caliente como se indica en (5):

$$Q_c \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{Ga [m^3]}{t [h]} = \frac{26 m^3}{7 \text{ min} * \frac{1}{60} h/min} \quad (5)$$

$$Q_c = 111,5 \frac{m^3}{h}$$

El caudal de reposición del tanque de agua recuperada se estima como la media entre el caudal mínimo y máximo para dicho tramo, el cual dependerá de la superposición de los retornos del Klean y de las máquinas de teñir; y de los requerimientos de agua caliente para el proceso de teñido. Considerando que el tanque de recuperación se vacía a razón de 111,5 m³/h (caudal de cargas de agua caliente), se tiene que el máximo caudal de reposición se dará cuando solo haya retorno del Klean (18 m³/h), este caudal siempre retornará ya que el Klean funciona continuamente las 24 horas; y la reposición mínima se dará cuando se combine el retorno del Klean con el de las máquinas de teñir (en total 70 m³/h de retorno). De esta manera se tiene un caudal máximo de reposición del tanque de 93,5 m³/h. Y un caudal mínimo de 41,5 m³/h.

Siendo entonces el caudal promedio de reposición para el tanque de agua caliente recuperada de 67,5 m³/h, este caudal es el que debe entregar la bomba "B4".

Para determinar el caudal que debe entregar la bomba "B3" se tiene en cuenta que el caudal de reposición de TK4, caudal de enfriamientos y caudal de cargas de agua en máquinas de teñir, se dan de forma intermitente durante el día. De estos, el que mayor tiempo circula en el día es el caudal de enfriamientos (esto se obtiene de las curvas de tinte, figuras 3 y 4). Por ende, se considera apropiado que el caudal de diseño de los tramos 4 y 4' (indicados en la figura 7), sea igual al caudal de enfriamientos aumentado en un 30%, para cubrir eventuales superposiciones entre los demás caudales mencionados que circulan por dichos tramos de cañería. Por tal motivo, el caudal de la bomba "B3" será 68 m³/h. Este también será el caudal a transportar por el resto de los tramos de la cañería aguas arriba del TK3, hasta llegar al TK1.

Por último, se analiza el caudal que deberá entregar la bomba sumergible (B5) al TK1, considerando para este caso la suma de tres caudales:

1. Caudal de reposición de tanque, el cual será del 10% del volumen del mismo en una hora, es decir 11 m³/h.
2. Caudal de refrigeración del Klean (18 m³/h), obtenido de la ecuación (1).
3. Caudal demandado por tintorería (6* < 8 m³/h).

Donde v es la velocidad del fluido en [m/s], g es la aceleración de la gravedad en [m/s²], l , d y f representan la longitud, diámetro interno y factor de fricción del tramo para el número de Reynolds correspondiente a su velocidad y f_{turb} es el factor de fricción turbulento (calculado para el máximo Reynolds), estos dos últimos son obtenidos del diagrama de Moody; K_{acc} es la longitud equivalente obtenida de la tabla de la figura 6.

Una vez determinadas todas las pérdidas de carga se continua el cálculo hidráulico recorriendo las cañerías a contracorriente, tramo a tramo. Se utilizará para el estudio la ecuación de continuidad determinada por el principio de Bernoulli:

$$Q_{inicial} = Q_{final} \quad (11)$$

$$H_i + \frac{v_i^2}{2g} + z_i = H_f + \frac{v_f^2}{2g} + z_f + \Delta H$$

Donde H es la altura en metros de columna de agua [m], z es la altura piezométrica en [m] del punto a evaluar. Se realiza este procedimiento en todos los tramos y se construye una planilla totalizadora a modo resumen donde se pueden ver los diferentes parámetros intervinientes en cada tramo.

Selección de bombas

En los circuitos donde se tiene bombas centrifugas, las mismas se seleccionan analizando la altura (medida en m.c.a) que se tiene entre la brida de impulsión y la brida de succión de la bomba. Esto es lo mismo que medir que aporte de energía tiene que realizar la bomba dentro de la instalación. Los tramos indicados con un apóstrofe, por ejemplo, Tramo 2', se refieren al tramo de succión, aguas arriba de la bomba. Además, para la selección de la bomba "B2", la cual succiona desde una cisterna subterránea e impulsa hacia el tanque de agua fría (TK3), se verifica que la altura neta positiva de succión (ANPA) disponible en la instalación sea mayor al requerido por la bomba para su caudal de trabajo. Se ejemplifica a continuación la selección de la bomba "B2":

- Tramo 3: Presión necesaria en la brida de impulsión de la bomba (H_{i3})

$$H_i = H_f + z_f + \Delta H \quad (12)$$

$$H_i = (30,6 + 3 + 2) m = 35,6 m$$

- Tramo 3': Presión necesaria en la brida de impulsión de la bomba (H_{i3})

$$H_f = H_i + z_i - \frac{v_f^2}{2g} - \Delta H \quad (13)$$

$$H_i = (10,2 - 1 - 0,2 - 0,8) m = 8,2 m$$

Altura a vencer por la bomba B2:

$$H = H_{i3} - H_{f3'} \quad (14)$$

$$H = (35,6 - 8,2) m = 27,4 m$$

La bomba debe ser de $H=27,4 m$ y $Q = 68m^3/h$

Verificación de ANPA:

Sea "Hv" la presión de vapor en [m] para agua a 15°C, se calcula de la siguiente manera la altura neta positiva de aspiración disponible:

$$ANPA_D = H_{f3'} + \frac{v^2}{2g} - Hv \quad (15)$$

$$ANPA_D = \left(8,2 + \frac{2,1^2}{2 * 9,8} - 0,17 \right) m = 7,2 m$$

Se verifica con las curvas de la bomba que el ANPA disponible (7,2 m) es mayor al ANPA requerido (1,3 m), por lo tanto, la bomba funcionara sin inconvenientes. Se podrán ver en la figura 9 las curvas correspondientes a la bomba B2.

Todos los cálculos mostrados fueron realizados tramo a tramo en cada una de las cañerías, tanto de agua caliente, como agua recuperada y agua fría, llegando finalmente a una planilla totalizadora de todos los tramos y a la determinación de las bombas necesarias en cada parte de la instalación. Teniendo de esta manera la especificación de caudal $\left[\frac{m^3}{h} \right]$ y altura [m] de las cuatro bombas centrifugas (B1, B2, B3, B4) y de la bomba sumergible (B5), dichos datos se detallan a continuación junto con las respectivas curvas de cada bomba.

- Bomba B1: figura 7

- $H = 43,5 m$; $Q = 18 m^3/h$

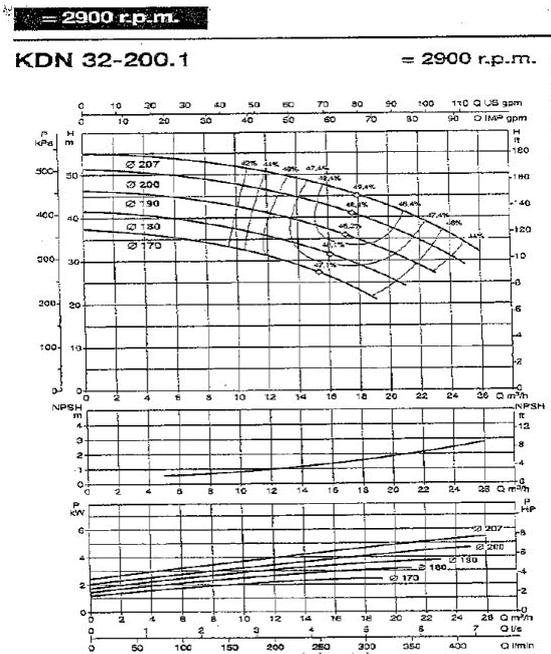


Figura 7: Curvas de bomba B1. Tomada de "Bombas centrifugas normalizadas", por DAB, 92. [7]

- Bomba B2: figura 8

H = 27 m ; Q = 68 m³/h

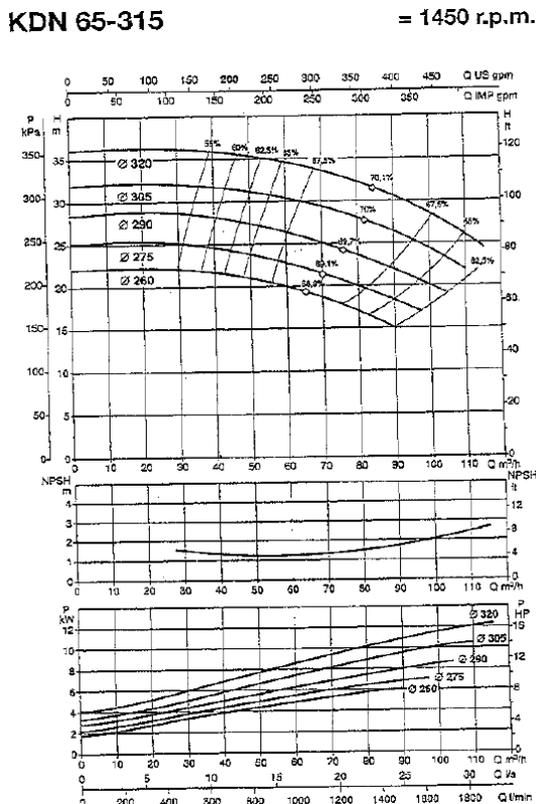


Figura 8: Curvas de bomba B2. Tomada de "Bombas centrifugas normalizadas", por DAB, 88. [8]

- Bomba B3: figura 9

• H = 39,4 m ; Q = 68 m³/h

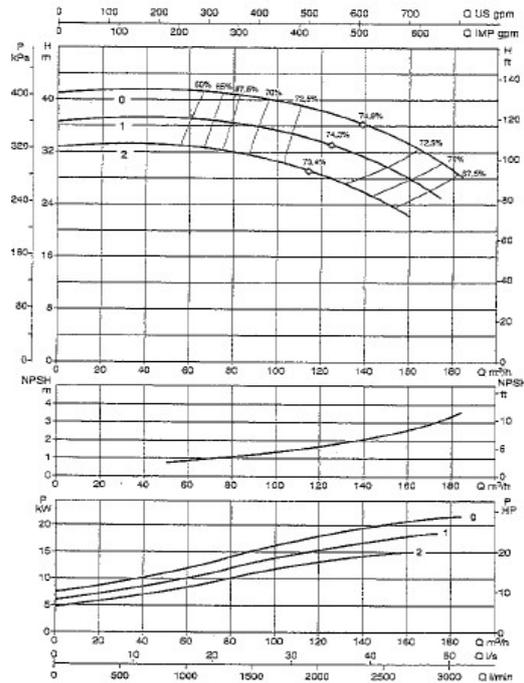


Figura 9: Curvas de bomba B3. Tomada de "Bombas centrifugas normalizadas", por DAB, 31. [9]

- Bomba B4: figura 10

H = 37 m ; Q = 111,5 m³/h

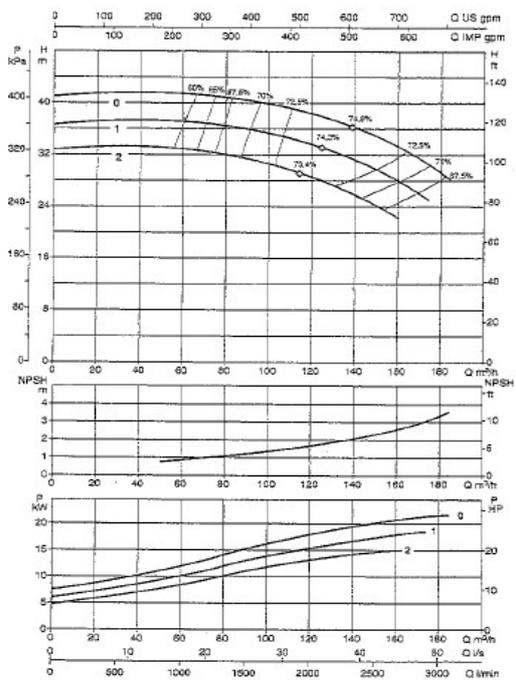


Figura 10: Curvas de bomba B4. Tomada de "Bombas centrifugas normalizadas", por DAB, 31. [10]

- Bomba B5: figura 11
 - H = 41,3 m ; Q = 97 m³/h

SX896



Características 50Hz • Performance 50Hz

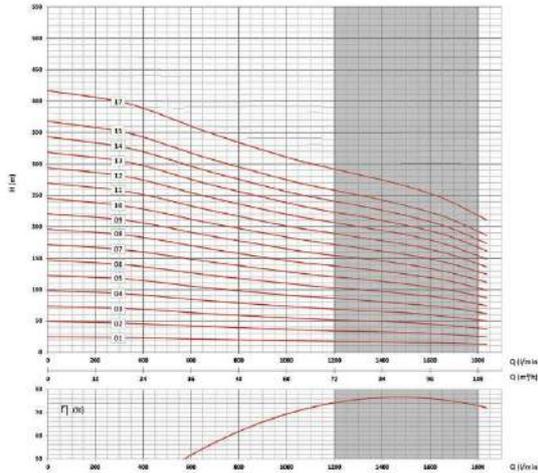


Figura 11: Curvas de bomba B5. Tomada de "Bombas centrifugas", por SACI, 31. [11]

Todas las bombas centrifugas fueron seleccionadas del catálogo de la marca "DAB" y la bomba sumergible B5 se seleccionó del catálogo de la marca "Saci Pumps", indicándose a continuación

los modelos correspondientes a cada una, junto a sus características de potencia requerida [kW] y velocidad de giro [rpm]:

- Bomba B1 (5 kW – 2900 rpm)
Modelo: KDN 32-200.1 / 207
- Bomba B2 (8 kW -1450 rpm)
Modelo: KDN 65-315 / 305
- Bomba B3 (22 kW – 2900 rpm)
Modelo: NKM-G 80-315-0
- Bomba B4 (22 kW – 2900 rpm)
Modelo: NKM-G 80-315-0
- Bomba B5 (15 kW – 2850 rpm)
Modelo: SX896-03

A continuación, se muestra a modo resumen en la figura 12, una planilla totalizadora de todos los tramos de cañerías, donde se puede observar las principales características hidráulicas de cada uno, el diámetro comercial seleccionado y su largo. Los tramos indicados con la letra (A) hacen referencia a que son acometidas a máquinas de teñir, es decir derivaciones finales desde cañería troncal hasta punto de consumo.

	Tramo	Ønom	Q	v	Δh	Δh	L	Inicio	Fin
		["]	[m ³ /h]	[m/s]	[bar]	[bar/m]	[m]		
AGUA FRÍA	1'	2	18	2,1	0,06	0,029	2	TK 1	Bomba 1
	1	2	18	2,3	1,50	0,010	149	Bomba 1	Klean
	2	4	68	2,1	0,24	0,015	16	TK 1	TK 2
	3'	4	68	2,1	0,07	0,015	5	TK 2	Bomba 2
	3	4	68	2,1	0,33	0,011	30	Bomba 2	TK 3
	4'	4	68	2,1	0,03	0,015	2	TK 3	Bomba 3
	4	4	68	2,1	0,25	0,020	12	Bomba 3	Derivacion a TK 4
	5	4	67,5	2	0,09	0,007	13	Derivacion a TK 4	TK 4
	6	4	111,5	3,3	0,14	0,027	5	Derivacion a AC	Cañeria AC
	7	4	68	2,1	0,04	0,008	5	Derivacion a TK 4	Punto A (Tee)
	8	4	68	2,1	0,03	0,005	4	Punto A (Tee)	Derivacion a MT 1
	9	4	68	2,1	0,14	0,006	24	Punto A (Tee)	Derivacion a MT 4
	10	3	51,4	2,7	0,12	0,010	12	Derivacion a MT 1	Derivacion a MT 2
11	3	51,4	2,7	1,20	0,109	11	Derivacion a MT 4	Derivacion a MT 5	
12 (A)	3	51,4	2,7	1,20	0,200	6	Derivacion a MT 1	MT 1	
13 (A)	3	51,4	2,7	1,20	0,200	6	Derivacion a MT 2	MT 2	
14 (A)	2	17,1	2	0,90	0,150	6	Derivacion a MT 3	MT 3	
15 (A)	3	51,4	2,7	1,20	0,200	6	Derivacion a MT 4	MT 4	
16 (A)	3	51,4	2,7	1,20	0,200	6	Derivacion a MT 5	MT 5	
17'	6	111,5	1,6	0,02	0,010	2	TK 4	Bomba 4	
17	6	111,5	1,6	0,14	0,007	19	Bomba 4	Punto B (Tee)	
18	6	111,5	1,6	0,02	0,004	5	Punto B (Tee)	Derivacion a MT 1	
19	4	55,8	1,8	0,05	0,004	11	Derivacion a MT 1	Derivacion a MT 2	
20	6	111,5	1,6	0,06	0,002	25	Punto B (Tee)	Derivacion a MT 4	
21	4	55,8	1,8	0,05	0,004	11	Derivacion a MT 4	Derivacion a MT 5	
22 (A)	3	51,4	3	0,16	0,025	6	Derivacion a MT 1	MT 1	
23 (A)	3	51,4	3	0,16	0,025	6	Derivacion a MT 2	MT 2	
24 (A)	2	17,1	2,2	0,11	0,018	6	Derivacion a MT 3	MT 3	
25 (A)	3	51,4	3	0,16	0,025	6	Derivacion a MT 4	MT 4	
26 (A)	3	51,4	3	0,16	0,025	6	Derivacion a MT 5	MT 5	
27	2	18	2,3	0,82	0,012	71	Klean	Derivacion a MT 2	
28	3	18	1	0,02	0,002	12	Derivacion a MT 2	Derivacion a MT 1	
29	3	18	1	0,02	0,003	7	Derivacion a MT 1	Punto C (Tee)	
30	2 1/2	24	2,2	0,10	0,009	11	Derivacion a MT 5	Derivacion a MT 4	
31	3	52	3	0,45	0,015	28	Derivacion a MT 4	Punto C (Tee)	
32	3	18	1	0,03	0,002	16	Punto C (Tee)	TK 4	
33 (A)	2 1/2	24	2,2	0,11	0,013	8	Derivacion a MT 1	MT 1	
34 (A)	2 1/2	24	2,2	0,11	0,013	8	Derivacion a MT 2	MT 2	
35 (A)	1 1/4	8	2,3	0,20	0,025	8	Derivacion a MT 3	MT 3	
36 (A)	2 1/2	24	2,2	0,11	0,013	8	Derivacion a MT 4	MT 4	
37 (A)	2 1/2	24	2,2	0,11	0,013	8	Derivacion a MT 5	MT 5	



Los caños fueron seleccionados de la tabla dimensional de productos brindada por el fabricante Sidercam, presentada en la figura 13. Para todas las cañerías de agua fría se opta por utilizar Schedule 10, en cambio, tanto para las cañerías de agua caliente como agua recuperada se opta por Schedule 40 a modo de resguardo de seguridad. Considerando en estos casos un sobre espesor por corrosión, la cual es incrementada por la temperatura.

- Tabla dimensional de productos utilizada para seleccionar las cañerías, en correspondencia con normas ASTM A 53/A 106, ASTM A 333, ASTM A 335, API 5L, IRAM IAS U 500-218, EN 10297 y otras.

TABLA DIMENSIONAL DE PRODUCTOS

SIDERCAM SA
SOLUCIONES INTEGRADAS EN ACERO

The Sidercam 2015. Distribuido. Sin Negociar. 1.200.000.000

DIAMETRO NOMINAL (pulgadas)	DIAMETRO EXTERNO (milímetros)	ESPESOR	GRUPO A													
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
1/8	13,3	Espeque	1,35	2,41	-	-	-	-	-	1,72	-	2,47	-	-	-	-
		New Material	0,37	0,47	-	-	-	-	-	0,37	-	0,47	-	-	-	-
1/4	12,7	Espeque	2,24	3,02	-	-	-	-	-	2,24	-	3,02	-	-	-	-
		New Material	0,38	0,48	-	-	-	-	-	0,38	-	0,48	-	-	-	-
3/8	19,1	Espeque	2,31	3,25	-	-	-	-	-	2,31	-	3,25	-	-	-	-
		New Material	0,34	0,42	-	-	-	-	-	0,34	-	0,42	-	-	-	-
1/2	25,4	Espeque	2,27	2,72	2,67	-	-	-	-	2,27	-	2,72	-	-	-	4,78
		New Material	0,25	0,32	0,32	-	-	-	-	0,25	-	0,32	-	-	-	0,32
3/4	32,2	Espeque	2,87	3,41	3,42	-	-	-	-	2,87	-	3,41	-	-	-	5,14
		New Material	0,45	0,55	0,55	-	-	-	-	0,45	-	0,55	-	-	-	0,55
1	33,4	Espeque	3,28	4,02	4,03	3,77	-	-	-	3,28	-	4,02	-	-	-	6,32
		New Material	0,60	0,68	0,68	0,68	-	-	-	0,60	-	0,68	-	-	-	0,68
1 1/4	42,2	Espeque	4,14	4,85	4,73	3,77	-	-	-	4,14	-	4,85	-	-	-	8,31
		New Material	0,74	0,84	0,84	0,84	-	-	-	0,74	-	0,84	-	-	-	0,84
1 1/2	48,3	Espeque	4,62	5,48	5,16	3,77	-	-	-	4,62	-	5,48	-	-	-	9,54
		New Material	0,80	0,92	0,92	0,92	-	-	-	0,80	-	0,92	-	-	-	0,92
2	60,3	Espeque	5,31	5,54	5,59	3,77	-	-	-	5,31	-	5,54	-	-	-	11,74
		New Material	0,94	1,04	1,04	0,94	-	-	-	0,94	-	1,04	-	-	-	1,04
2 1/2	73,8	Espeque	5,98	7,01	6,87	3,95	-	-	-	5,98	-	7,01	-	-	-	13,51
		New Material	1,03	1,16	1,16	1,03	-	-	-	1,03	-	1,16	-	-	-	1,16
3	86,3	Espeque	6,49	7,62	7,42	4,14	-	-	-	6,49	-	7,62	-	-	-	15,28
		New Material	1,13	1,28	1,28	1,13	-	-	-	1,13	-	1,28	-	-	-	1,28
3 1/2	95,3	Espeque	6,74	8,08	-	4,14	-	-	-	6,74	-	8,08	-	-	-	16,28
		New Material	1,17	1,34	-	1,17	-	-	-	1,17	-	1,34	-	-	-	1,34
4	104,3	Espeque	6,99	8,16	8,12	4,35	-	-	-	6,99	-	8,16	-	-	-	17,49
		New Material	1,21	1,41	1,41	1,21	-	-	-	1,21	-	1,41	-	-	-	1,41
5	119,3	Espeque	7,63	9,19	8,75	4,35	-	-	-	7,63	-	9,19	-	-	-	19,28
		New Material	1,28	1,52	1,52	1,28	-	-	-	1,28	-	1,52	-	-	-	1,52
6	129,3	Espeque	8,14	10,21	9,22	4,54	6,35	7,04	8,38	10,41	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	21,04
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
8	175,3	Espeque	9,17	10,23	10,40	4,73	6,35	7,83	8,77	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	28,14
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
10	222,3	Espeque	9,62	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
12	268,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
14	304,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
16	330,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
20	438,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
25	546,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
30	654,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
36	816,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
42	978,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
48	1140,3	Espeque	9,63	12,26	12,40	4,92	6,46	8,18	10,39	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	14,27	33,22
		New Material	1,32	1,61	1,61	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

Figura 13: Tabla dimensional de caños – Sidercam [12].

La instalación propuesta tiene por objetivo que, ante la falta de agua en la planta, por ejemplo por una falla en la bomba sumergible, se tenga suficiente agua de alimentación a la etapa primaria del Klean para 6 horas de funcionamiento. Esto permitiría, además, que no se tengan que detener las máquinas de termo fijado hasta recuperar el nivel de agua necesario y no se pierda tiempo de producción. Además, en el caso extremo de que se agote la reserva del TK1, mediante sensores de nivel y un sistema eléctrico de solenoides se cierra el damper que permite el ingreso de gases al Klean y el flujo es direccionado hacia la atmósfera. Mediante la apertura de otro damper se consigue que no se de-

tengan las máquinas y no se activen los rociadores contra incendio ubicados en la etapa secundaria del Klean por detección de exceso de temperatura de los gases. Esta última maniobra sería momentánea hasta que se recupere el nivel de agua en el TK1, y en condiciones normales de funcionamiento no debería suceder. Si llegara a suceder deben reposicionarse los dampers para continuar tratando los gases antes de expulsarlos a la atmósfera. Para que los operarios puedan operar con seguridad y eficiencia la instalación, se activara una alarma sonora/lumínica, distinta a la alarma que se activaría en caso de que realmente exista un incendio dentro del Klean.

Por otro lado, en referencia al ahorro energético que genera el nuevo sistema, con el funcionamiento actual de la planta debe aportarse calor para calentar el agua que ingresa a las máquinas de teñir, y también cuando las mismas deben calentar el baño de tintura para otros procesos. En las cargas de agua caliente se conoce que la cantidad de agua (Gac) utilizada por día entre todas las maquinas es de 520.000 kg, y para aportarle un salto térmico de 45°C (desde 15°C a 60°C) se consumen 23.400.000 kCal, esto se obtiene como se indica en (16):

$$q [kCal] = G [kg] * cp \left[\frac{kcal}{kg} ^\circ C \right] * \Delta T [^\circ C] \quad (16)$$

$$q [kCal] = 520.000 kg * 1 \left[\frac{kcal}{kg} ^\circ C \right] * 45 ^\circ C$$

$$q_{cargas\ de\ agua\ caliente} = 23.400.000\ kCal$$

De igual manera se calcula el calor suministrado en los calentamientos que realizan las máquinas de teñir. Sabiendo que se realizan 2 ciclos de teñido de polyester y 2 de algodón por día, el salto térmico a aplicar entre los cuatro calentamientos que se realizan para algodón suman 206°C, y que entre los dos calentamientos que se realizan para polyester el salto térmico suma 80°C. Aplicando (16) en cada caso, se obtiene que el calor consumido en total es

$$q_{Calentamientos} = 14.872.200\ kCal.$$

Por lo que el calor que consume la planta con su funcionamiento actual es:

$$q_{Actual} = q_{cargas\ de\ agua\ caliente} + q_{Calentamientos}$$

$$q_{actual} = (23.400.000 + 14.872.000) \frac{kCal}{dia}$$

Lo cual da un total de 38.272.000 kCal/día. Este valor se verá disminuido con la nueva instalación propuesta y dicha disminución se puede cuantificar calculándola como la suma del calor recupera-



do del Klean (q_{KLEAN}) y el calor recuperado de las máquinas de teñir (q_{MT}). Siendo el primero obtenido de la formula (1), multiplicándolo por 24 horas debido al funcionamiento continuo del Klean:

$$q_{KLEAN} = 806400 \frac{kCal}{h} * 24h = 19.353.600 \frac{kCal}{dia}$$

El calor recuperado de las maquinas fue calculado con la expresión (3) en base a los enfriamientos realizados, dando un total de:

$$q_{MT} = (1.716.000 + 1.560.000)kCal$$

$$q_{MT} = 3.276.000 \frac{kCal}{dia}$$

El calor total recuperado por día es:

$$q_{recuperado} = q_{KLEAN} + q_{MT}$$

$$q_{recuperado} = 22.629.600 \frac{kCal}{dia}$$

Con el ahorro de energía generado se tendría un gasto calórico " q_{Futuro} " de 15.642.400 kCal/día. El cual representa el 40% del consumo calórico actual de la planta.

Se puede cuantificar el ahorro generado sabiendo que el poder calorífico inferior (PCI) del gas natural es 8300 kCal/m³. Obteniendo así el ahorro de gas por día "AG" como se indica en (17):

$$AG \left[\frac{m^3}{dia} \right] = \frac{q_{recuperado} \left[\frac{kcal}{dia} \right]}{PCI \left[\frac{kcal}{m^3} \right]} \quad (17)$$

$$AG = \frac{22.629.600 \frac{kCal}{dia}}{8300 \frac{kcal}{m^3}} = 2726,5 \frac{m^3}{dia}$$

Además, se sabe gracias a datos brindados por la empresa, que el costo del gas natural "Cgas" es de 0,44 U\$S/m³. Comprendiendo éste el costo de extracción en boca de pozo (0,26 U\$S/m³) más el costo de transporte y distribución (0,18 U\$S/m³). Se obtiene de esta forma el ahorro monetario por día "AM", calculado como se indica en (18):

$$AM \left[\frac{U\$S}{dia} \right] = AG \left[\frac{m^3}{dia} \right] * C_{gas} \left[\frac{U\$S}{m^3} \right] \quad (18)$$

$$AM = 2726,5 \frac{m^3}{dia} * 0,44 \frac{U\$S}{m^3} = 1199,7 \frac{U\$S}{dia}$$

Como puede verse, el ahorro monetario que se obtendría luego de implementar las modificaciones planteadas en este informe, sería de 1199,7 U\$S/día.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se ha abordado el cálculo y la selección adecuada de cañerías y bombas necesarias para llevar a cabo la instalación, considerando aspectos como el caudal demandado y la presión requerida. La planificación meticulosa de la distribución de la instalación, junto con el dimensionamiento adecuado de la tubería y accesorios, fue un pilar fundamental para garantizar un suministro constante de agua de refrigeración al Klean y a la hora de hacer más eficiente la instalación existente. Puede concluirse de los cálculos realizados, que con la instalación propuesta el consumo de energía calórica de la fábrica disminuiría aproximadamente en un 60%, lo cual se considera favorable económicamente ya que dicha energía se obtiene del gas natural que posteriormente se combustiona para generar vapor en las calderas y utilizarlo en los procesos. Este ahorro energético generado se refleja en una reducción de U\$S 1199,7 por día en los gastos de gas natural de la empresa. El conocimiento adquirido a lo largo de este informe proporciona una base sólida para la implementación exitosa de instalaciones de ahorro de energía, no solo en casos académicos, sino que también en diversos contextos industriales.

REFERENCIAS

- [1] García, C. (1987). *Termodinámica técnica*, 4° ed. Librería y editorial Alsina. Buenos Aires, 27-39.
- [2] Danitech. (2020). *Dani-Evo*: There is no better way to dye. Revista técnica para empresas textiles, 11.
- [3] Danitech. (2020). *Dani-Evo*: There is no better way to dye. Revista técnica para empresas textiles, 12.
- [4] Streeter, V.L.; Wylie, E.B.; Bedford, K.W. (2000). *Mecánica de los fluidos*, 9° ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 283-303.
- [5] Streeter, V.L.; Wylie, E.B.; Bedford, K.W. (2000). *Mecánica de los fluidos*, 9° ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 293.
- [6] Streeter, V.L.; Wylie, E.B.; Bedford, K.W. (2000). *Mecánica de los fluidos*, 9° ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 300.
- [7] DAB, *Bombas centrífugas normalizadas*. Catálogo de selección de bombas centrífugas, 92.
- [8] DAB, *Bombas centrífugas normalizadas*. Catálogo de selección de bombas centrífugas, 88.
- [9] DAB, *Bombas centrífugas normalizadas*. Catálogo de selección de bombas centrífugas, 31.
- [10] DAB, *Bombas centrífugas normalizadas*. Catálogo de selección de bombas centrífugas, 31.
- [11] SACI, *Bombas sumergibles*. Catálogo de selección de bombas sumergibles, 14.
- [12] SIDERCAM SA, *Tabla dimensional de productos*, catalogo virtual de productos. Tomado de: http://sidercam.com.ar/suspended.page/1_mb/

