



## Reingeniería del Proceso de Elaboración de una Bebida con Base de Leche de Coco

Jorge Carlos Vega Hernández, Priscila Castillo Soto.  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador  
jcvega@espol.edu.ec

### Resumen

*Este artículo tiene como objetivo aumentar la producción de una bebida a base de leche de coco, de una empresa local. Este estudio se basa en la optimización de recursos existentes en la planta, desde el punto de vista de personas, tiempos y equipo. Para cumplir con el objetivo, se proponen técnicas para determinar la eficiencia de la línea y la reestructuración de las estaciones de trabajo. Con el aumento de los niveles de producción, la capacidad del sistema de refrigeración se ve superada por lo cual se diseñó el nuevo tanque refrigerado-mezclador para que la transferencia calórica sea eficiente.*

**Palabras Claves:** Estaciones de trabajo, tanque refrigerado-mezclador.

### Abstract

*This article proposed improvements to the process of a beverage based on coconut milk, at a local company. Based on the need to increase production levels, the study uses the already existing elements in the factory which includes machinery and human resources. In order to achieve the objective, the efficiency was calculated. In addition, the project restructured the line and workstations, and balanced the existing workloads. To fulfill the objectives of this project, the cooling system capacity for the new production exceeded and therefore the new chilled-mixer tank is designed so that the heat transfer is efficient.*

**Key Words:** Workstation, Simulation.

### 1. Introducción

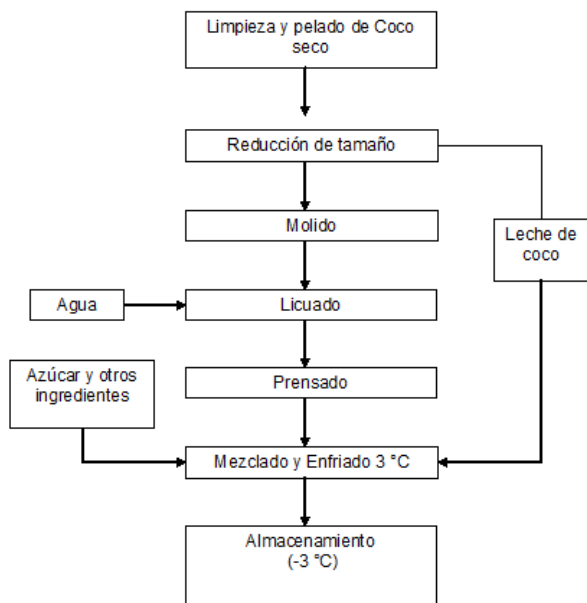
El presente artículo se desarrolla en una empresa que ofrece al mercado además de la bebida a base de leche de coco, helados naturales y demás sub-productos.

El trabajo se orienta a aumentar la producción de bebida a base de leche de coco para suplir la demanda que aumento en un 200% en cuestión de un trimestre.

Se detallara el proceso de elaboración, su análisis y las mejoras que se deban realizar para cumplir con la demanda impuesta por el mercado.

### 2. Situación Actual del Proceso de Elaboración

El proceso realizado en este taller es netamente artesanal, combina maquinaria de baja capacidad y labores manuales, algunas de esfuerzo físico. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del proceso.

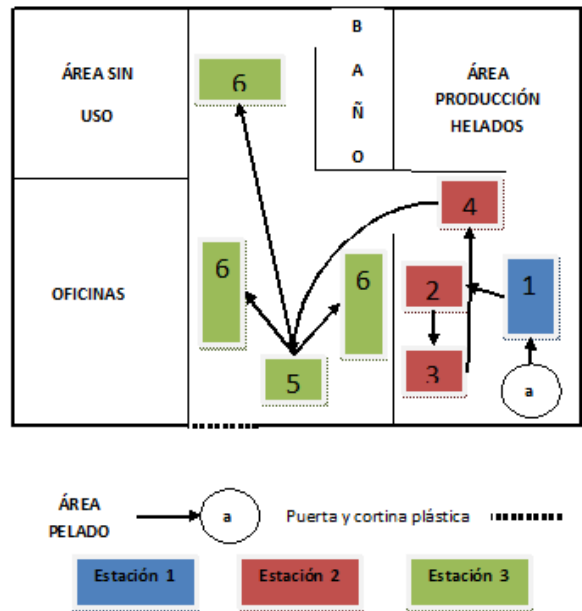


**Figura 1. Diagrama de bloques**

Cabe mencionar que las actividades de gran esfuerzo físico son el molido y prensado, por la dificultad que conlleva cargar los equipos. Además algunos equipos instalados son aplicados en otros tipos de procesos de transformación alimenticios.

En la figura 2 se muestra el LAY OUT de la planta, junto a las estaciones de trabajo y las acciones realizadas que se pueden dividir en operaciones (números) y actividades (letras), en las primeras se obtiene transformación de materia prima y las otras

son acciones necesarias para mantener el orden y limpieza, además de los tiempos que requiere cada acción esto se puede apreciar en la tabla 1.



**Figura 2. Lay Out Planta Actual.**

OPERACIÓN REALIZADAS			
1	Reducción de tamaño	4	Prensado
2	Molino	5	Mezclado y enfriado
3	Licuado	5	Almacenamiento
ACTIVIDADES ADICIONALES			
A	traer materia prima	D	despacho producción
B	limpieza constante pisos I	E	limpieza pisos II
C	limpieza constante mesones		

OPERACIÓN	TIEMPO (s)	ACTIVIDAD	TIEMPO (s)
1	118	A **	300
2	198	B **	45
3	104	C **	60
4	124	D	1200
5 *	720	E **	60
6	150		

**Tabla 1. Operaciones y actividades realizadas, y tiempos de duración.**

\*Esta operación se divide en 2 grupos, la carga y el tiempo de enfriamiento. El tiempo de carga es insignificante y lo absorbe el tiempo de enfriamiento, pero la máquina pierde eficiencia en función del tiempo. El tiempo de operación 5 más corto es 180 s. Y el tiempo más largo es 1200 s.

\*\* Estas operaciones se las realiza cada 3 unidades de producción.

### 3. Re-ingeniería del Proceso

Consideradas las expectativas propuestas por la gerencia que se exponen en la tabla 2, se determinaran los problemas que aquejan al sistema existente para un replanteamiento.

MEDIDAS	ACTUAL	EXPECTATIVA
Producción	28 uni/día	120 uni/diaria
Tiempo de ciclo	26,32 min/uni	A
Calidad	1,5 uni/diarias	reducir 100%
Horas extras Prom.	1,5 horas/diarias	B

**Tabla 2. Expectativas de gerencia**

Como primer paso para maximizar la línea de producción es determinar que tan eficiente es la línea actual, en función de unidades de producción en función del tiempo. La unidad de producción es contenedores de 20 Lts. La eficiencia se expresa:

$$E = \frac{C_{exp}}{t_i \times n^{\circ}_{estaciones}}$$

Donde  $C_{exp}$  es el tiempo de ciclo experimental,  $t_i$  es el ritmo de producción o tiempo takt y  $n^{\circ}_{estaciones}$  es el número de estaciones que posee el proceso de elaboración

Además;  $C_{exp} = \sum_{i=1}^n t_i$

$$\sum_{tiempo} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n \text{ y,}$$

$$T_i = \frac{\text{tiempo}_{disponible}}{\text{unidades}_{producidas}}$$

ESTACIÓN 1		ESTACIÓN 2		ESTACIÓN 3	
Carga	Tiempo (min)	Carga	Tiempo (min)	Carga	Tiempo (min)
1	1,97	2	3,30	5	12,00
A	1,67	3	1,73	6	2,50
B	0,25	4	2,07	E	0,33
C	0,33	*C	0,5		
<b>TOTAL</b>	<b>4,22</b>		<b>7,60</b>		<b>14,83</b>

**Tabla 3. Tiempos por estaciones de trabajo**

A partir de la tabla 3 y reemplazando la eficiencia de la línea es:

$$\sum_{tiempo} = 26,32 \text{ min.}$$

$$T_i = 18,32 \text{ min/uni}$$

Para realizar el cálculo del tiempo takt, Se considera para cálculos iniciales un 90 % eficiencia del personal (3% Necesidades Personales, 3% Desviaciones Varias y 4 % Fatiga). Reemplazando en la ecuación de eficiencia:

$$E = 0.47$$

Este valor no representa si la línea podrá cumplir con las nuevas metas de producción, sino que la velocidad en que se terminan los productos al momento no es la adecuada.

Hay que considerar que el tiempo de ciclo teórico, está en función de las unidades producidas, lo ideal es que al relacionar ambos tiempos de ciclo el resultado sea próximo o mayor a 0,75 que es un valor apropiado de para procesos donde involucren procesos manuales aunque puede ser mayor porcentaje.

Como segundo punto se identifica los problemas que la afectan, y su recurrencia para determinar las prioridades a modificarse.

Se definirán 3 tipos de problemas:

*Problemas de Cultura.-* tienen que ver con el conocimiento del personal acerca del proceso o medidas que afecten directamente la elaboración del proceso.

*Problemas de Proceso.-* son los problemas que se asocian con la disposición, organización y desenvolvimiento de la línea de producción.

*Problemas de tecnología.-* relacionados con las tecnologías aplicadas al proceso.

Para la identificación se utilizara el sistema de entrevista a partir de una encuesta (figura 3) y después analizar IN SITU el problema identificado.

Para calcular el porcentaje de ocurrencia se recurre a la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{\text{total}}{\text{participan tes} * \text{preguntas}} * 100$$

ENTREVISTA.

1.- ¿Se siente motivado en el trabajo?  
SI\_\_ ME DA IGUAL\_\_ NO\_\_

2.- ¿Cuál es su aspiración en la empresa?  
\_\_\_\_\_

3.- ¿Existen recompensas por un buen trabajo?  
SI\_\_ A VECES\_\_ NUNCA\_\_

4.- ¿Conoce sobre medidas sanitarias y su importancia?  
SI\_\_(de ejemplos abajo) NO\_\_

5.- ¿Cómo fluye el trabajo en el área de producción?  
De dueño a operarios\_\_ de jefe a operarios\_\_ entre operarios\_\_

6.- ¿Que tan bien esta distribuido el trabajo entre los trabajadores?  
BIEN\_\_ MEDIO\_\_ MAL\_\_

7.- ¿El producto debe esperar en la línea de producción en algún punto?  
SIEMPRE\_\_ A VECES\_\_ NUNCA\_\_

8.- ¿Para trabajar tienen todo lo que necesitan cerca o deben ir a verlos a otro lado?  
CERCA\_\_ LEJOS\_\_

9.- ¿Siente que Ud. hace un esfuerzo superior que el de sus compañeros?  
SI\_\_ A VECES\_\_ NO\_\_

10.- ¿Ha tenido accidentes?  
SI\_\_(escriba debajo que accidente) NO\_\_

11.- ¿Sabe realizar todas las actividades concernientes a la elaboración del producto?  
SI\_\_ NO\_\_

12.- ¿Las maquinas demoran el trabajo?  
SI\_\_ A VECES\_\_ NUNCA\_\_

13.- ¿Con que frecuencia la maquina no esta en funcionamiento por fallas en funcionamiento?  
NUNCA\_\_ RARA VEZ\_\_ FRECUENTEMENTE\_\_

14.- Existe producto dañado, ¿En donde?  
\_\_\_\_\_

15.- ¿Cree Ud. que la empresa pueda mejorar?  
SI\_\_ NO\_\_

**Figura 3. Entrevistas**

Los datos, resultados y conglomerados se encuentran en la tabla 4.

PROBLEMA	max.	ENTREVISTADO			Totales
		1	2	3	
Cultura	4	3	3	3	9
Proceso	6	6	5	6	17
Tecnología	4	3	4	3	10

PROBLEMA	DESPERDICIO	TOTALES	% OCURENCIA
Cultura	Recursos humanos	9	75,0
Proceso	Sobreproducción, espera	17	94,4
Tecnología	DEFECTOS	10	83,3

**Tabla 4. Resultados de entrevistas y conglomerados**

A partir de los datos de la tabla 4 se aprecia que el principal problema es que el proceso no esta bien balanceado, los tiempos de trabajos numéricamente no son los mismos, cuando una estación termina su labor, la otra todavía labora con lo cual se determina que existen *cuellos de botella* en la línea.

### 3.1. BALANCE DE LINEA

Para alcanzar las metas de producción (120 uní/día) se debe calcular el tiempo o ritmo de producción mínimo y máximo dentro la flexibilidad de horario que permite la gerencia, se calcula el tiempo takt requerido:

$$T_{t2} = 4,25 \text{ min/uni}$$

*Rangos superior 3.6 min/unid y rango inferior 5.4 min/unid.*

Por motivo de cálculos se adecua el tiempo de la operación 5 en el más corto obtenido 210 s (3,5 min) y este será el límite máximo para tiempo de enfriamiento, además se estima que el tiempo de almacenamiento sufrirá un cambio ya que no se almacenará por unidad sino por grupo, puesto que al existir una cámara esta no se la puede abrir constantemente por razones de pérdida de temperatura.

Además la operación E desaparece porque solo habrá una área de producción.

Se analizó la propuesta de que el tiempo de la operación 6 sea de 1 min porque el tiempo será para almacenar 6 unidades de producción que es la capacidad del contenedor refrigerado móvil que posee la empresa

Se elimina la actividad 6 puesto que existe ahora solo un área de producción, se asignó el valor más alto que existía de limpieza de pisos y esta tarea podría ser realizada por 2 personas al mismo momento durante el proceso pero abarcando el mismo tiempo.

Las operaciones 5 y 6 deben ser realizadas por el mismo operario porque a partir de estas operaciones la cadena de frío empieza y él debe llevar control del inicio de dicha cadena de frío.

Al sumar los tiempos de la operación 5, la operación 6 y la actividad D nos da como Tiempo 4,37 min/uní.

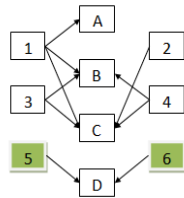
Al comparar con los valores de  $T_t$  calculados, se determina como tiempo referencial el valor de 4.25 unidad/min.

Para conformar las estaciones de trabajo, se relaciona el número de empleados con el número de estaciones necesarias:

$$\# \text{ personal} = \frac{\text{tiempo} \cdot \text{ciclo}}{\text{tiempo} \cdot \text{takt}}$$

$$\# \text{ personal} = 3,6 \text{ empleados}$$

Por tanto serán 4 estaciones de trabajo y basándose en las correlaciones entre puestos de trabajo y los tiempos asignados las estaciones quedaran de acuerdo a la figura 4.



Relación de correspondencia operaciones – actividades.

ESTACIONES DE TRABAJO BALANCEADA

ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3		ESTACION 4	
Carga	Tiempo (min)	Carga	Tiempo (min)	Carga	Tiempo (min)	Carga	Tiempo (min)
1	1,97	2	3,30	3	1,73	5	3,00
A	1,67			4	2,07	6	1,00
B	0,25			C	0,33	E	0,37
C	0,33						
Σ	4,22		3,30		4,13		4,37

Figura 4. Estaciones de trabajo balancea

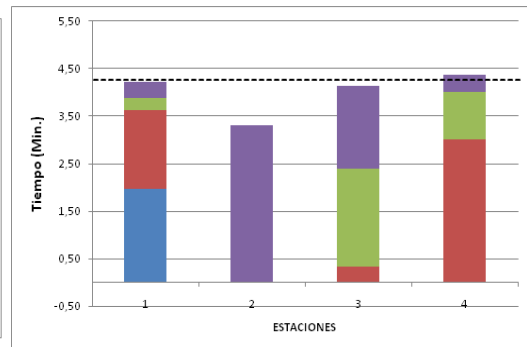
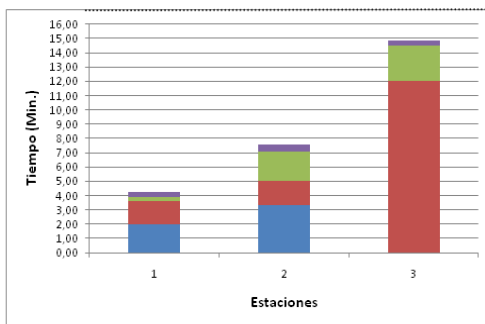


Figura 5. Comparación de cargas de estaciones (antigua línea / línea propuesta)

Se escogió el flujo de producción en forma de U por el espacio reducido que hay en la planta, el Lay Out propuesto queda determinado en la figura 6. Con este diseño de planta, existe un correcto flujo de la línea de producción, favoreciendo la cadena de producción y evitando movimientos innecesarios que muestra el anterior Lay Out (figura 2).

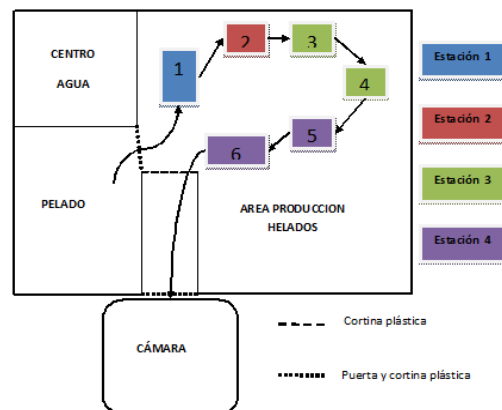


Figura 6. Lay Out propuesto

En la figura 5 se aprecia que las cargas de las estaciones de trabajo están balanceadas, lo que es necesario para tener un proceso fluido, ya que, al terminar su proceso una estación la otra estará lista para recibir un nuevo trabajo.

Además se re-calcula la eficiencia de la línea para verificar la relación entre los nuevos tiempos de ciclo.

$$C = \sum_{tiemp} = 16,02 \text{ min.}$$

$$E = 0,89$$

Este valor de eficiencia es alto e indica que el nuevo arreglo que se realizó podrá cumplir con las expectativas de producción de la empresa, ya que la velocidad de producción es apropiada para cumplir el volumen requerido de producto



La limpieza de la materia prima sigue estando fuera del área de producción puesto que la corteza exterior que es fibrosa deja partículas suspendidas mientras se la remueve, pero el pelado no es una tarea que deje tantos desperdicios, por esta razón se la instaló dentro del área evitando el movimiento del operario de la estación 1.

Además el almacenamiento consta ahora de 2 fases, la primera dentro del área de producción que es un almacenamiento previo; y la segunda, un almacenamiento externo con una cámara de doble puerta. Con lo cual se aumenta la capacidad de almacenamiento necesaria y con más orden.

El almacenamiento previo reduce el tiempo de operación 6, ya que se pueden almacenar más unidades a una distancia corta. Y después se moviliza el producto hacia la cámara.

La cámara al contar con un sistema de doble puerta facilita la entrega de producto a los camiones repartidores y la entrada de producto por parte de producción.

Posteriormente se realiza una simulación en el programa WITNESS 2008 Copyright © Lanner Group Full versión Release 1.00 c Manufacturing Performacen Edition. Este programa tiene diferenciación de los datos que están relacionados con los tiempos que aparecen en la línea de producción, los tiempos que influyen directamente en la transformación de la materia prima están considerados como *tiempos de producción* y los tiempos que son de las actividades al programa se los ingresa como *setups*.

La simulación (figura 7), demuestra que el nuevo proceso de producción alcanzará la cifra de 127 unidades (126 en el contador y 1 que se encuentra ya terminada en el almacenamiento transitorio), pero este tipo de simulación muestra a operarios ideales, sin contratiempos y cansancio; por eso ya la línea real tendrá un funcionamiento distinto y menor al que se muestra en la simulación. Esto indica que la línea funcionará adecuadamente. La necesidad de 120 unidades varía ya que de acuerdo a gerencia y al historial de ventas en los días entre semanas la demanda baja y la producción debe ser ajustada.

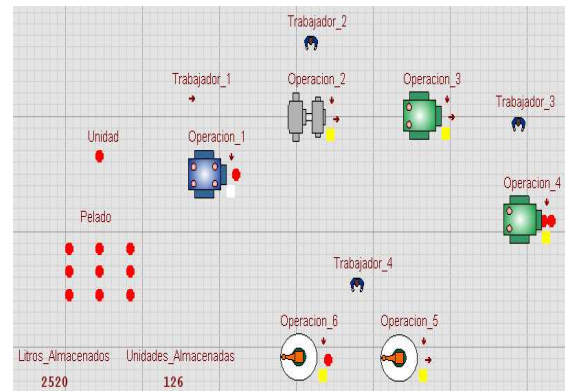


Figura 7. Simulación Witness 2008.

#### 4. Sistema de transferencia de calor.

Las capacidades del sistema de transferencia de calor es superada por el aumento de producción planeado, por lo cual se realiza el diseño del tanque refrigerado-mezclador, que conlleven a optimizar el proceso de transferencia de calor.

##### 4.1 Diseño Tanque refrigerado-mezclador.

Una de las premisas de este trabajo es la utilización de todos los equipos existentes en la planta. Por lo cual se mantendrá el tanque refrigerado- mezclador, que utiliza por refrigerante una mezcla de agua y etilenglicol al 40 %, pero se planteará el cambio del agitador, ya que con los distintos modelos existentes, el coeficiente de transferencia de calor será mayor y lo volverá eficiente.

El diseño generalmente usado en la industria de alimentos es el que se muestra en la figura 8 en la que se muestran los elementos del diseño y sus respectivas proporciones geométricas para un proceso de agitación normal

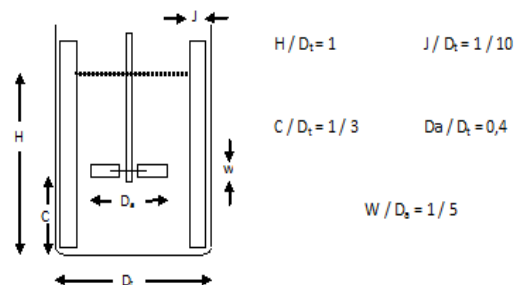


Figura 8. Elementos de un tanque agitador Y proporciones geométricas

Los datos de tanque existente son:

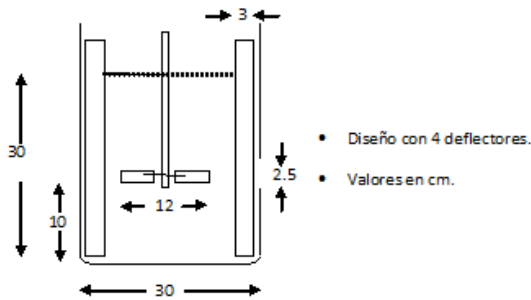
$$H = 30 \text{ cm} \quad D_t = 30 \text{ cm};$$

Con lo que se procede a utilizar las proporciones geométricas de la figura 3.12 y se obtiene:

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{10} \Rightarrow J = 3 \text{ cm} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \Rightarrow C = 10 \text{ cm}$$

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,4 \Rightarrow D_a = 12 \text{ cm} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \Rightarrow W = 2,4 \text{ cm} \Rightarrow 2,5 \text{ cm}$$

Que son los datos suficientes para el diseño del sistema de agitación, como lo muestra la figura 9, Para la elección del impulsor, se debe calcular cuál de ellos ofrece un mejor coeficiente de transferencia de calor ( $h$ ). Se debe tener de referencia que ya existe un motor de impulsor en la planta, este ofrece 150 rpm. Y de acuerdo a esta premisa, los tipos de impulsor adecuados para esta velocidad son el de paletas y el de espas



**Figura 9. Diseño de tanque refrigerado-agitador**

Para ambos tipos de impulsores debemos calcular sus coeficientes de transferencia de calor, para lo cual se debe considerar.

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

Donde,  $Q$  es calor retirado,  $U$  es coeficiente total de transferencia de calor en  $W/m^2 K$ ,  $A$  es el área de transferencia de calor y  $\Delta T$  es el diferencial de temperatura en  $^{\circ}C$ . Para asuntos de diseño, se debe obtener un alto valor de  $U$  ya que con esto el sistema es eficiente. Para el cálculo de  $U$  está definido por la siguiente expresión.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + f_i + \frac{x}{k} + f_j + \frac{1}{h_j}$$

Donde  $h_i$  es el coeficiente de transferencia de calor del lado interior del tanque en  $W/m^2 K$ ,  $f_i$  es el coeficiente de incrustación del lado interior del tanque,  $x$  es el espesor de la pared del tanque en  $m$ ,  $k$  la conductividad térmica de la pared en  $W/m K$ ; los valores que tienen sub índice  $j$  pertenecen al lado que está en contacto con el etilenglicol, a partir de esta ecuación se determina que a mayor valor de  $h_i$  mayor será el valor de  $U$ , por lo cual se determinara el valor de  $h_i$ .

Para obtener  $h_i$ , se consideran las relaciones entre datos de transferencia de calor que ofrecen las ecuaciones de números adimensionales de:

**\*Numero de Reynolds (tanques agitados):**

$$Re = \frac{D_a^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

Donde  $D_a$  es diámetro de agitador en  $m$ ,  $N$  velocidad de rotación en  $rev/s$ ,

**\*Numero de Prandtl:**

$$Pr = \frac{Cp \times \mu}{k}$$

El número de Nusselt difiere con respecto al tipo de impulsor:

**\* Numero de Nusselt:**

$$Nu = \frac{h \times D}{k}$$

Pero existen relaciones especiales para los diferentes tipos de impulsores, y ayudados por ellos podemos calcular  $h$ . Para los impulsores seleccionados tenemos las siguientes relaciones:

**Paletas.**

$$Nu = 0,36 (Re)^{0,67} (Pr)^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}; Re > 4000$$

$$Nu = 0,415 (Re)^{0,67} (Pr)^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,24}; Re < 4000$$

**Aspas.**

$$Nu = C (Re)^{0,67} (Pr)^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Donde  $C = 0,54$   $Re < 400$ ;  $C = 0,74$   $Re > 400$



Se procede con los cálculos:

$$Re = 18737,64$$

$$Pr = 14,45$$

Ya que los impulsores de paletas y aspas tienen el mismo diámetro aparente ( $D_a$ ), los valores de Reynolds y Prandtl y se obtiene para Paletas  $Nu = 633,54$  y para Aspas  $Nu = 1302,28$ .

$Nu$  y  $h$  son directamente proporcionales, a mayor valor de  $h$  será el valor de  $Nu$ . con lo cual el sistema de aspas tendrá un mayor coeficiente transferencia de calor frente al sistema de paletas. El valor de  $h = 5600 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

## 5. Conclusiones

- La metodología de *Resolución de Problemas* empleada en este estudio, es apropiada cuando no se conoce a fondo el proceso de producción, la combinación entre entrevistas y la posterior validación de los resultados, muestra un panorama real de los acontecimientos que retrasan el proceso.
- El aumento del área de producción, con la eliminación del área de servicios de operarios, así mismo, como la eliminación de la pared que separaba las áreas de producción, mostrados en los apéndices B y C. Aumenta el área de útil de planta en un 35 % aproximadamente, lo que garantiza un ambiente de trabajo más favorable para que los operarios se desenvuelvan mejor.
- La nueva distribución de estaciones, propuesta a partir del estudio de los tiempos de ciclo, con sus respectivas cargas laborales cumplen con éxito las metas de producción, las cuales se comprueban con la simulación realizada en Witness 2008.
- El tanque de agitación refrigerado, baja la temperatura del producto desde 25°C a 3°C. Con el fin de volver eficiente el sistema de enfriamiento se concluye que una agitación con aspas y deflectores aumenta el coeficiente de transferencia de calor.
- Con la nueva distribución se alcanza la meta de 120 uni/día frente a las 28 uni/día actuales, pero hay que considerar que dentro del balance de línea propuesto las cargas laborales por estación superan por segundos el tiempo de ciclo asumido. Por lo que se

recomienda que la jornada laboral tenga 2 horas extras llegando a 10 totales de trabajo.

- Se obtuvo satisfactoriamente un incremento significativo en la productividad de la línea con las mejoras propuestas, logrando alcanzar el objetivo de este trabajo.

## 8. Agradecimientos

A Dios por sus bendiciones a lo largo de mi vida, a mi familia los pilares de mi vida y por su constante e incondicional apoyo, a todos los profesores de la carrera por su paciencia y su intelecto, y así mismo a todos mis verdaderos amigos.

## 7. Referencias

1. BARCIA KLEBER. Modelo para Mejorar Sistemas de Producción Industriales. Octubre, 2003.
2. GEANKOPLIS CHRISTIE. Procesos de transporte y Operaciones unitarios. Editorial Prentice Hall. México D.F. México. 1998.
3. HELDMAN DENNIS, LUND DARYL. Handbook of Food Engineering. CRC Press. New York, USA. 2007.
4. HELDMAN DENNIS, SINGH PAUL. Introduction to Food Engineering. Bath Colour Books. Glasgow, Great Britain. 2001.
5. MILLER WILLIAM. Refrigeration, system and applications. ASHRAE committee. Atlanta, USA. 1990.
6. PERRY ROBERT. Manual del Ingeniero Químico. McGraw-Hill. México D.F. México. 1997.
7. RAMIREZ JUAN. Enciclopedia de la climatización. Grupo Editorial Ceac. Madrid, España. 1994.

---

Ing. Priscila Castillo S.  
Director de la Tesis





**EESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

