

CAPITULO 4

4. MEJORAMIENTO DEL PROCESO

Con el mejoramiento del proceso se propone aumentar la producción actual mediante la implementación de equipos que eliminen el reproceso, y que permitan obtener el producto en un tiempo reducido, a un costo mínimo, y permitiendo llevar un control de calidad.

Para evaluar la mejor alternativa, se utiliza como herramienta la estimación del costo por caja, tomando en cuenta costos directos e indirectos, para determinar cual de los procesos: actual, actual mejorado o semiautomático, es el más adecuado y de menor precio.

4.1. DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO Y MEJORADO

El proceso de fabricación que fue analizado en el segundo capítulo, ha tenido varios cambios que se muestran en el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.1. A partir de este diagrama

se realizara el estudio de la selección de equipos y los cálculos correspondientes.

4.2. BALANCE DE MATERIALES

Se realizó el balance de materiales del proceso ACTUAL, que consta de dos partes: elaboración del turrón de miel de abeja, y enchocolatado del turrón.

Los datos necesarios para el balance de materiales se obtuvieron mediante el control del proceso durante una semana de producción, de esta manera se establecieron los porcentajes de pérdidas estándar para cada paso del proceso, y para el proceso total. A partir de estos datos, se inicio el control del proceso, utilizando el que anteriormente no se tenía controlado. Para el control se utiliza el formato que se muestra en el anexo 4.1, en donde se registra para cada lote, los parámetros más importantes del proceso, como es temperaturas, tiempos, y pesos.

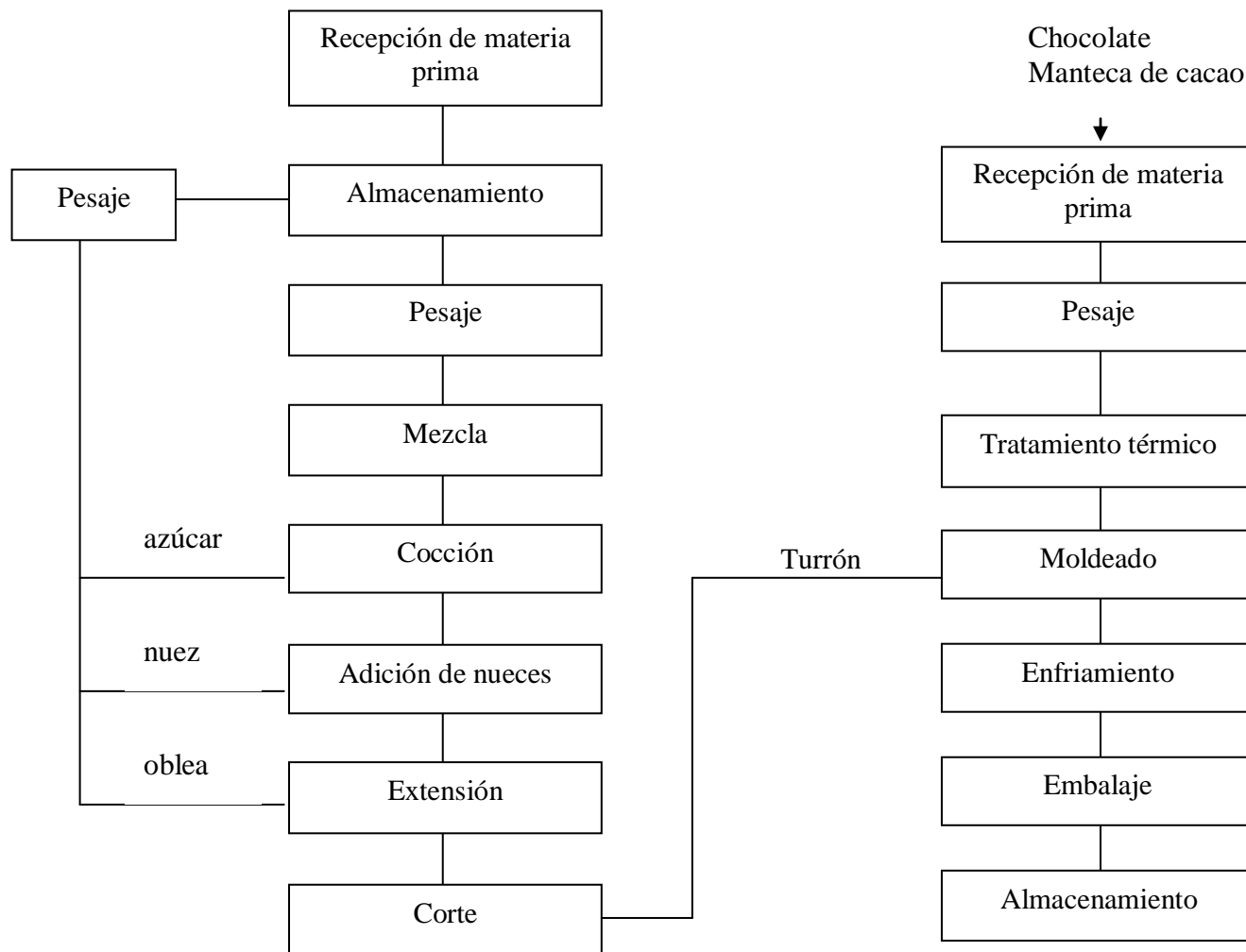


FIGURA 4.1. DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DEL PROCESO

Los resultados del balance de materiales se muestran en la tabla 27, donde se observa tres columnas: la primera columna, indica los ingredientes con sus respectivos pesos y unidad, que ingresan al sistema; la segunda columna, indica la operación que se lleva a cabo; y la tercera columna, muestra el ingrediente y su respectivo peso, que sale del sistema como un desperdicio, o que se acumula para continuar con la siguiente etapa.

En la elaboración del turrón se obtuvieron los siguientes datos:

- Total entradas 100%
- Total salidas 76.56%
- Total pérdidas 20.44%

El detalle de las pérdidas se muestran a continuación:

- Vapor de agua 53.40%
- Yema 23.50%
- Producto 12.50%
- Cáscara 10.60%
- Total 100.00%

ENTRA			OPERACIÓN	SALE Y ACUMULA		
Huevo entero	2,660	kg	MEZCLA	Mezcla	5,200	kg
Clara	1,700	kg		Sólidos	63	%
Yema	0,660	kg		Agua	37	%
Cáscara	0,300	kg		Huevo	0,960	kg
Miel de abeja	2,600	kg		Yema	0,660	kg
Azúcar	0,900	kg		Cáscara	0,300	kg
Total	6,160	kg		Total	6,160	kg
Mezcla	5,200	kg	COCCION	Turrón	3,700	kg
Sólidos	63	%		Sólidos	88	%
Agua	37	%		Agua	12	%
				Vapor de agua	1,500	kg
Total	5,200	kg	Total	5,200	kg	
Turrón	3,700	kg	COCCION	Turrón con maní	7,200	kg
Maní	3,600	kg		Pérdidas	0,100	kg
Total	7,300	kg	Total	7,300	kg	
Turrón con maní	7,200	kg	EXTENSION	Turrón	7,400	kg
Hostia	0,250	kg		Pérdidas	0,050	kg
Total	7,450	kg	Total	7,450	kg	
Turrón	7,400	kg	CORTE	Turrón cortado	7,200	kg
				Pérdidas	0,200	kg
Total	7,400	kg	Total	7,400	kg	

TABLA 27. BALANCE DE MATERIALES EN LA ELABORACIÓN DEL TURRON

Masa Glacé	8,000	kg	MEZCLA	Cobertura leche	11,140	kg
Grasa	34,000	%		Grasa	35,500	%
Chocolate	2,000	kg		Pérdidas	0,050	kg
Grasa	32,000	%				
Grasa vegetal	0,300	kg				
Chocolate reproceso	0,890	kg				
Total	11,190	kg		Total	11,190	kg
Cobertura leche	11,140	kg	MOLDE	Producto	18,090	kg
Turrón cortado	7,200	kg		Chocolate	61	%
				Turrón	39	%
				Pérdidas	0,250	kg
				Chocolate	0,150	kg
				Turrón	0,100	kg
Total	18,340	kg		Total	18,340	kg
Producto	18,090	kg	ENFRIAMIENTO	Producto	18,090	kg
Producto	18,090	kg	REPROCESO	Producto Neto	16,800	kg
				Chocolate	58	%
				Turrón	42	%
				Chocolate reproceso	1,290	kg
Total	18,090	kg	Total	18,090	kg	
Producto Neto	16,800	kg	EMBALAJE	Producto bruto	19,600	kg
Materiales de embalaje	2,800	kg				
Total	19,600	kg		Total	19,600	kg

TABLA 28. BALANCE DE MATERIALES EN EL ENCHOCOLATADO DEL TURRON.

El balance de materiales en el enchocolatado se muestra en la tabla 28.

Los resultados del balance se muestran a continuación:

- Total entradas 100.00%
- Total salidas 91.35%
- Total pérdidas 8.65%

El detalle de las pérdidas se muestran a continuación:

- Reproceso 81%
- Molde 16%
- Mezcla 3%
- Total 100%

Los cálculos realizados se basan en un *batch* de producción, que equivale a 84 cajas de veinte unidades.

4.4. ANALISIS DE EQUIPOS Y SUMINISTROS DEL PROCESO ACTUAL MEJORADO

En el proceso actual mejorado se considera las mejoras propuestas en el segundo capítulo, que se enumeran a continuación:

a. Incorporación del azúcar en forma de caramelo al final del proceso de cocción, con lo que se logra disminuir el tiempo del proceso de cocción de 90 minutos a 65 minutos, que equivale al 28% de disminución del tiempo.

b. Implementación del temperado del chocolate, y utilización de cobertura de chocolate (manteca de cacao), en lugar de la cobertura de sabor a chocolate (manteca vegetal).

c. Cambio del uso de moldes, por la inmersión del turrón en el chocolate líquido, con lo que se logra una combinación de cobertura (chocolate) 35% y relleno (turrón de miel de abeja con maní) 65%.

Con este cambio se ahorra un 58% de chocolate, y se aumenta 60% de turrón. Las nuevas dimensiones del corte del turrón para el baño son: 20 x 25 x 12 mm, de esta forma se obtiene el peso requerido por unidad (10 g).

d. Mayor control del enfriamiento, el producto a 25-28°C se coloca en bandejas sobre un estante móvil, que ingresa a la cámara de refrigeración, permanece el tiempo necesario hasta alcanzar 10°C.

Luego sale a un cuarto con temperatura y humedad controlada, para evitar que se humedezca la superficie del chocolate. Para conocer la temperatura del cuarto se utiliza la carta higrométrica (anexo 2.5).

Para llevar a cabo las mejoras recomendadas para el proceso actual se requiere de los equipos que se detallan en la tabla 29.

En los anexos se puede observar las figuras de los equipos que se utilizan en el proceso actual mejorado. Para el análisis de costos se requiere conocer la capacidad máxima de los equipos, y el costo de la inversión. Estos datos se detallan en la tabla 30.

PROCESO	CAPACIDAD MAXIMA kg/h	TIEMPO OPERACIÓN h/batch	COSTO DE EQUIPOS USD
BATIDO	20	0.25	500
COCCION	34	1.17	2300
EXTENSION	80	0.25	450
CORTE	10	2.00	15
TEMPERADO	12	0.83	1800
ENCHOCOLATADO	7	3.00	250
ENFRIAMIENTO	5	4.00	500
EMPAQUE	5	4.00	35
AIRE ACONDICIONADO			400
SISTEMA DE AGUA			300
QUEMADOR A GAS			120
TOTAL		15.5	6670

TABLA 30. COSTO DE EQUIPOS DEL PROCESO ACTUAL MEJORADO

Proceso	Equipo	Características
Batido	Batidora semi-industrial	Capacidad 20 L. Motor 0.75HP
Cocción	Olla de acero inoxidable agitador mecánico	Carga y descarga manual, calentamiento con gas de uso industrial, agitador raspador de teflón
Extensión	Mesa, reglas de nivel y accesorios	Mesa: 1800 x 900 mm Reglas de nivel de 12mm de altura Rodillo de 60mm de diámetro
Corte	Cortador giratorio	Diámetro 40 mm
Temperado	Baño María	Recipiente de acero inoxidable(ϕ 40mmx25mm) con agitador, suspendido sobre un baño de agua. Resistencia eléctrica y salmuera (20%) para controlar la temperatura del proceso.
Enchocolatado	Tenedores para baño, malla, bandejas y estante transportador	Material acero inoxidable, bandejas con malla mesh 9. Dimensiones del estante 690 x 420 x 1560 mm
Enfriamiento	Cámara fría	Cuarto aislado refrigerado con unidad de compresión y condensador Dimensiones 700 x 500 x 1800 mm
Embalaje	Bandejas, recipientes herméticos.	Proceso manual, se utiliza papel estaño, pirotinas, cajas de cartulina y papel celofán.
Equipos auxiliares	Condicionador de aire	Enfriamiento del área de baño de chocolate y embalaje a temperatura y humedad controladas.
	Quemador	Calentamiento en el proceso de cocción del turrón.
	Sistema de Agua	Cisterna de 12 m ³ , tanque de presión de 200 L y bomba de 1HP para cubrir las necesidades de agua de la planta.50 psi

Fuente: Inducom, Debucco

TABLA 29. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL PROCESO ACTUAL MEJORADO

Los suministros necesarios para el funcionamiento normal de la planta de procesamiento son:

AGUA POTABLE

El agua se recibe del servicio municipal. El control del nivel de cloro y pH se realiza cada 15 días. El agua se utiliza principalmente para los proceso de limpieza y desinfección de los equipos, utensilios e instalaciones de la planta.

Debido a que el agua no es un ingrediente del producto, no es necesario tratamientos de purificación.

El consumo de agua se resume en la siguiente tabla.

Consumo mensual	40m ³ /mes
Costo del agua	0,62USD/m ³
Costo mensual	24.8USD/mes
Capacidad producción	20batch/mes
Costo total	1.24USD/batch

TABLA 31. CONSUMO DE AGUA

ELECTRICIDAD

La energía eléctrica se recibe a través del servicio público con un voltaje de 110V. Se utiliza en equipos, y alumbrado del área de trabajo.

En la tabla 32 se describe los equipos que utilizan energía, y su consumo.

EQUIPO	POTENCIA DEL MOTOR		TIEMPO DE OPERACIÓN		CONSUMO ENERGIA	COSTO TOTAL
	HP	KW	Min	horas	KJ/batch	USD
Batidora Semi-industrial	0.75	0.56	30	0.50	0.28	0.023
Motoreductor Cocción	2.00	1.50	75	1.25	1.88	0.152
Motoreductor Temperado	0.50	0.38	50	0.83	0.31	0.025
Resistencia Temperado	0.50	0.38	20	0.33	0.13	0.010
Bomba Salmuera	0.13	0.09	30	0.50	0.05	0.004
Sistema de Enfriamiento	2.00	1.50	240	4.00	6.00	0.486
Condicionador de aire	1.00	0.75	480	8.00	6.00	0.486
Motor Bomba de Agua	2.00	1.50	60	1.00	1.50	0.122
Alumbrado		1.00	240	4.00	4.00	0.324
TOTAL					20.14	1.631

TABLA 32. CONSUMO DE ELECTRICIDAD

En cada batch de producción el consumo eléctrico es de 1.631 USD, lo que equivale a 20.14KJ de energía consumida.

COMBUSTIBLE

Se utiliza como combustible al gas de uso industrial en presentación de 45 kg. Se emplea el calor de la combustión del gas en la cocción del turrón y el temperado del chocolate.

COCCION DEL TURRON

El proceso de la cocción está constituido por cuatro etapas, que se enumeran a continuación:

- a. Periodo de calentamiento del producto, en donde la temperatura aumenta hasta 70°C.
- b. Periodo de mantenimiento, durante 25 minutos se mantiene constante a 70°C
- c. Periodo de mantenimiento, al añadir el azúcar a 122°C se calienta la mezcla desde 70°C hasta 90°C, y se mantiene a esa temperatura por 15 minutos.
- d. Periodo de calentamiento del azúcar, se calienta el jarabe de azúcar hasta 122°C para obtener una concentración de azúcar de 90%.

Para calcular el combustible necesario para realizar estos procesos se requiere calcular los consumos de calor que se realizan en cada etapa, a continuación se detalla cada uno de ellos.

a. Periodo de calentamiento

1. Calor consumido para el calentamiento de la olla

$$Q_1 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = 35Kg * 0.368KJ / Kg^{\circ}C * (100 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_1 = 1030.40KJ$$

Se toma el Cp del bronce, igual a 0.368 KJ/kg°C.

2. Calor consumido para el calentamiento de la mezcla 1 (albúmina, miel de abeja y glucosa)

$$Q_2 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = 4.9kg * 2.132KJ / Kg^{\circ}C * (70 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_2 = 522.42KJ$$

El calor específico de la mezcla se determinó de acuerdo a los componentes del producto, y utilizando la siguiente fórmula:

$$Cp = 1424X_c + 1549X_p + 1675X_g + 837X_a + 4187X_h^1$$

En donde, x es el peso del componente en fracción unitaria. Los subíndices corresponden a: c, carbohidratos; p, proteína; g, grasa; a, ceniza; h, humedad.

Tomando en cuenta los componentes de la mezcla, se tiene:

$$Cp = 1424(0.723) + 1549(0.017) + 1675(0) + 837(0.002) + 4187(0.256)$$

$$Cp = 2132.32J / kg^{\circ}C$$

3. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

Las pérdidas de calor por convección y radiación, en equipos en estado estacionario se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_3 = h_a A (T_2 - T_1)$$

¹ ALVARADO, JUAN DE DIOS, Principios de Ingeniería Aplicados a alimentos, 1996, Pág. 10.

En donde h_a es el coeficiente combinado de conducción radiación², el cual se determina utilizando una fórmula que proporciona un valor estimado para equipos con o sin aislamiento.

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(80 - 20) = 12.00 \text{Kcal} / \text{hm}^2 \text{°C}$$

$$h_a = 12 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2 \text{°C}} * \frac{4.185 \text{KJ}}{1 \text{Kcal}} * \frac{1 \text{h}}{60 \text{min}} * 35 \text{min}$$

$$h_a = 29.30 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{°C}$$

Entonces,

$$Q_3 = h_a A (T_2 - T_1) = 29.3 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{°C} * 1.7 \text{m}^2 * (80 - 20) \text{°C}$$

$$Q_3 = 2988.09 \text{KJ}$$

Siendo A el área externa de la olla.

4. Pérdidas de calor de la superficie del producto al medio ambiente, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula de transferencia de calor por conducción.

$$Q_4 = h_a A (T_2 - T_1)$$

Siendo h_a ², igual a

$$h_a = 2.499(T_2 - T_1)^{0.25} = 2.499(45 - 20)^{0.25}$$

$$h_a = 2.24 \text{W} / \text{m}^2 \text{°C}$$

$$h_a = 2.24 \frac{\text{J}}{\text{s} * \text{m}^2 \text{°C}} * \frac{60 \text{s}}{1 \text{min}} * 25 \text{min} * \frac{1 \text{KJ}}{1000 \text{J}}$$

$$h_a = 3.35 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{°C}$$

² Fuente: materia “Transferencia de Calor Aplicada”, dictada por el Ing. Suárez., primer término 2001.

Se utiliza una T promedio (T_2) dado que la mezcla no tiene una temperatura constante, T promedio es igual a $(70+20)/2$, es decir 45°C .

Entonces se aplica la fórmula,

$$Q_4 = h_a A (T_2 - T_1) = 3.35 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} * 1.13 \text{m}^2 * (45 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 94.64 \text{KJ}$$

El calor del periodo de calentamiento será igual a

$$Q_T = \sum_{i=1}^{i=4} Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_T = 1030.40 + 522.42 + 2988.09 + 94.64$$

$$Q_T = 4635.55 \text{KJ}$$

b. Periodo de mantenimiento (70°C)

1. Pérdidas de calor por la evaporación del agua

$$Q_5 = m\lambda$$

$$Q_5 = 1.5 \text{Kg} * 2256 \text{KJ} / \text{Kg}$$

$$Q_5 = 3384 \text{KJ}$$

Siendo m la masa de agua que se evapora, y λ el calor latente de evaporación del agua.

2. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

Las pérdidas de calor por convección y radiación, en equipos en estado estacionario se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_6 = h_a A (T_2 - T_1)$$

En donde h_a es el coeficiente combinado de conducción radiación, el cual se determina utilizando una fórmula que proporciona un valor estimado para equipos con o sin aislamiento.

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(100 - 20) = 13.20 \text{ Kcal} / \text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_a = 13.20 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * \frac{4.185 \text{ KJ}}{1 \text{ Kcal}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * 25 \text{ min}$$

$$h_a = 23.02 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entonces,

$$Q_6 = h_a A (T_2 - T_1) = 23.02 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} * 1.7 \text{ m}^2 * (100 - 20) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_6 = 3130.38 \text{ KJ}$$

Siendo A el área externa de la olla.

3. Pérdidas de calor de la superficie del producto al medio ambiente, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula de transferencia de calor por conducción.

$$Q_7 = h_a A (T_2 - T_1)$$

Siendo h_a , igual a

$$h_a = 2.499(T_2 - T_1)^{0.25} = 2.499(70 - 20)^{0.25}$$

$$h_a = 2.66 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_a = 2.66 \frac{\text{J}}{\text{s} * \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * 25 \text{ min} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$h_a = 3.99 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entonces se aplica la fórmula,

$$Q_7 = h_a A (T_2 - T_1) = 3.99 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 1.13 \text{m}^2 * (70 - 20) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_7 = 225.36 \text{KJ}$$

El calor del periodo de mantenimiento será igual a

$$Q_T = \sum_{i=5}^{i=7} Q_i = Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$Q_T = 3384 + 3130.38 + 225.36$$

$$Q_T = 6739.74 \text{KJ}$$

c. Periodo de mantenimiento (90°C), luego de añadir el azúcar a 122°C.

1. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

Las pérdidas de calor por convección y radiación, en equipos en estado estacionario se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_8 = h_a A (T_2 - T_1)$$

En donde h_a es el coeficiente combinado de conducción radiación, el cual se determina utilizando una fórmula que proporciona un valor estimado para equipos con o sin aislamiento.

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(120 - 20) = 14.40 \text{Kcal} / \text{hm}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$h_a = 14.40 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2 \text{ } ^\circ \text{C}} * \frac{4.185 \text{KJ}}{1 \text{Kcal}} * \frac{1 \text{h}}{60 \text{min}} * 15 \text{min}$$

$$h_a = 15.07 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Entonces,

$$Q_8 = h_a A (T_2 - T_1) = 15.07 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 1.7 \text{ m}^2 * (120 - 20) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_8 = 2561.22 \text{ KJ}$$

2. Pérdidas de calor de la superficie del producto al medio ambiente, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula de transferencia de calor por conducción.

$$Q_9 = h_a A (T_2 - T_1)$$

Siendo h_a , igual a

$$h_a = 2.499 (T_2 - T_1)^{0.25} = 2.499 (90 - 20)^{0.25}$$

$$h_a = 2.89 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$h_a = 2.89 \frac{\text{J}}{\text{s} * \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * 15 \text{ min} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$h_a = 2.60 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Entonces se aplica la fórmula,

$$Q_9 = h_a A (T_2 - T_1) = 2.60 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 1.13 \text{ m}^2 * (90 - 20) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_9 = 205.92 \text{ KJ}$$

El calor del periodo de mantenimiento será igual a

$$Q_T = \sum_{i=8}^{i=9} Q_i = Q_8 + Q_9$$

$$Q_T = 2561.22 + 205.92$$

$$Q_T = 2767.14 \text{ KJ}$$

d. Periodo de calentamiento del azúcar

Se mezcla 3.5kg de azúcar con 2.0kg de agua, se calienta a 122°C para lograr una concentración de azúcar del 90%, los calores consumidos se detallan a continuación:

1. Calor consumido para el calentamiento de la olla

$$Q_{10} = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_{10} = 2.0Kg * 0.48KJ / Kg^{\circ}C * (125 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_{10} = 100.80KJ$$

2. Calor consumido para el calentamiento de la mezcla (azúcar, agua)

$$Q_{11} = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_{11} = 5.5kg * 2.446KJ / Kg^{\circ}C * (122 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_{11} = 1372.38KJ$$

El calor específico de la mezcla se determinó de acuerdo a sus componentes.

3. Pérdidas de calor por la evaporación del agua

$$Q_{12} = m\lambda$$

$$Q_{12} = 1.611Kg * 2256KJ / Kg$$

$$Q_{12} = 3634.42KJ$$

Siendo m la masa de agua que se evapora, y λ el calor latente de evaporación del agua.

4. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(125 - 20) = 14.70Kcal / hm^2^{\circ}C$$

$$h_a = 14.70 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} * \frac{4.185KJ}{1Kcal} * \frac{1h}{60min} * 60min$$

$$h_a = 61.52KJ / m^2^{\circ}C$$

Entonces,

$$Q_{13} = h_a A(T_2 - T_1) = 61.52 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 0.31 \text{m}^2 * (125 - 20) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_{13} = 2029.33 \text{KJ}$$

5. Pérdidas de calor de la superficie del producto al medio ambiente.

$$h_a = 2.499(T_2 - T_1)^{0.25} = 2.499(71 - 20)^{0.25}$$

$$h_a = 2.67 \text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$h_a = 2.67 \frac{\text{J}}{\text{s} * \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}} * \frac{60 \text{s}}{1 \text{min}} * 60 \text{min} * \frac{1 \text{KJ}}{1000 \text{J}}$$

$$h_a = 9.62 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Se utiliza una T promedio (T_2) dado que la mezcla no tiene una temperatura constante, T promedio es igual a $(122+20)/2$, es decir 71°C .

Entonces se aplica la fórmula,

$$Q_{14} = h_a A(T_2 - T_1) = 9.62 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 0.13 \text{m}^2 * (71 - 20) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_{14} = 61.66 \text{KJ}$$

El calor del periodo de calentamiento del azúcar será igual a

$$Q_T = \sum_{i=10}^{i=14} Q_i = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}$$

$$Q_T = 100.80 + 1372.38 + 3634.42 + 2029.33 + 61.66$$

$$Q_T = 7198.58 \text{KJ}$$

El calor total consumido en la cocción de turrón y el calentamiento del azúcar se detalla en la siguiente tabla

a) Calentamiento	4635,55	KJ
b) Mantenimiento (70°C)	6739,74	KJ
c) Mantenimiento (90°C)	2767,14	KJ
d) Calentamiento azúcar	6498,45	KJ
Calor total consumido	20640,87	KJ
Poder calorífico del gas	55650	KJ/Kg
Masa de gas consumida	0,371	Kg
Costo combustible	1,33	USD/kg
Costo de gas por batch	0,49	USD

TABLA 33. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

TEMPERADO DE LA COBERTURA DE CHOCOLATE

El temperado o tratamiento térmico del chocolate consiste en cambios determinados de temperatura que se detallan en la tabla 34.

Etapa	T (°C)
Calentamiento	25-45
Enfriamiento	45-28
Calentamiento	28-32

TABLA 34. TEMPERADO DE LA COBERTURA DE CHOCOLATE

Para conocer el calor que se consume en el tratamiento térmico del chocolate se realizan los siguientes cálculos:

a) Calentamiento

1. Calor consumido para el calentamiento de la olla

$$Q_1 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = 3.0Kg * 0.48KJ / Kg^{\circ}C * (50 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_1 = 43.20KJ$$

2. Calor consumido para el calentamiento de la cobertura de chocolate

$$Q_2 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = 7.0kg * 1.26KJ / Kg^{\circ}C * (45 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_2 = 220.50KJ$$

$$Cp \text{ cobertura} = 1.26KJ / Kg^{\circ}C^3$$

3. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(50 - 20) = 10.20Kcal / hm^2^{\circ}C$$

$$h_a = 10.20 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} * \frac{4.185KJ}{1Kcal} * \frac{1h}{60min} * 10min$$

$$h_a = 7.10KJ / m^2^{\circ}C$$

Entonces,

$$Q_3 = h_a A (T_2 - T_1) = 7.11KJ / m^2^{\circ}C * 0.28m^2 * (50 - 20)^{\circ}C$$

$$Q_3 = 59.76KJ$$

Las pérdidas de calor de la superficie del chocolate al medio ambiente se consideran despreciables.

³ Manual de datos de Ingeniería en Alimentos

b) Enfriamiento

1. Calor liberado para el enfriamiento de la olla

$$Q_4 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_4 = 3.0Kg * 0.48KJ / Kg^{\circ}C * (25 - 50)^{\circ}C$$

$$Q_4 = -36.00KJ$$

2. Calor liberado para el enfriamiento de la cobertura de chocolate

$$Q_5 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_5 = 7.0kg * 1.26KJ / Kg^{\circ}C * (28 - 45)^{\circ}C$$

$$Q_5 = -149.94KJ$$

c) Calentamiento

1. Calor consumido para el calentamiento de la olla

$$Q_6 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_6 = 3.0Kg * 0.48KJ / Kg^{\circ}C * (34 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_6 = 12.96KJ$$

2. Calor consumido para el calentamiento de la cobertura de chocolate

$$Q_7 = m * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q_7 = 7.0kg * 1.26KJ / Kg^{\circ}C * (32 - 28)^{\circ}C$$

$$Q_7 = 35.28KJ$$

3. Pérdidas de calor de las paredes al medio (convección-radiación)

$$h_a = 8.4 + 0.06(T_{ext} - T_{amb})$$

$$h_a = 8.4 + 0.06(34 - 25) = 8.94 \text{Kcal} / \text{hm}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$h_a = 8.94 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2 \text{ } ^\circ \text{C}} * \frac{4.185 \text{KJ}}{1 \text{Kcal}} * \frac{1 \text{h}}{60 \text{min}} * 5 \text{min}$$

$$h_a = 3.12 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Entonces,

$$Q_8 = h_a A (T_2 - T_1) = 3.12 \text{KJ} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C} * 0.28 \text{m}^2 * (34 - 25) \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$Q_8 = 56.10 \text{KJ}$$

El calor total consumido en el temperado es igual a:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$Q_T = 43.20 + 220.50 + 59.76 + 12.96 + 35.28 + 7.86$$

$$Q_T = 379.56 \text{KJ}$$

Se ha obtenido un valor bajo de consumo de energía, lo cual lleva a la conclusión de que se puede utilizar una resistencia eléctrica en lugar del calentamiento por la combustión del gas.

Para lograr este calentamiento se propone una resistencia eléctrica, se utiliza un mezclador para que el agua fluya y aumente la velocidad de la transferencia de calor.

El calor que se debe extraer en el enfriamiento es igual a:

$$Q_T = Q_4 + Q_5 = -36.00 - 149.94$$

$$Q_T = -185.94 \text{KJ}$$

Para extraer esta cantidad de calor se puede utilizar salmuera al 20% (5°C) a través de un circuito adaptado al baño maría.

4.5. ANALISIS DE EQUIPOS Y SUMINISTROS DEL PROCESO SEMI-AUTOMATICO

Se ha diseñado un proceso semi-automático para poder aumentar la capacidad de producción a 500 cajas diarias (100 kg/día), para esto es necesario la implementación de equipos que se detallan en la tabla 35.

El proceso consta de dos etapas, la primera que es no continua (por batch) incluye las etapas de batido y cocción del turrón, y el temperado del chocolate; mientras que la segunda etapa, que es un sistema continuo, incluye las etapas de extensión y corte del turrón, baño de chocolate, enfriamiento del producto y empaque.

En la primera etapa, se procesa 65 kg de turrón y 35 kg de chocolate; y en la segunda etapa, se obtiene 100 kg de producto final, a razón de 20 kg/h. Para el análisis de costos se requiere conocer la capacidad máxima de los equipos, y el costo de la inversión. Estos datos se detallan en la tabla 36.

Proceso	Equipo	Características
Batido	Batidora semi-industrial	Capacidad 50 L, Motor 400 W
Cocción	Tanque con agitador	Capacidad 600 L, diámetro 1500mm, altura 350 mm, calentamiento con gas de uso industrial, agitador raspador de teflón
Extensión	Extrusor	Capacidad 20 kg/h, tornillo sin fin longitud 900 mm, sección de salida 180mm de ancho y cuatro orificios de 20 x 15 mm
Corte	Cortador neumático	Cortador neumático con dos actuadores lineales de doble efecto, electroválvula 3-2, e hilo de corte de acero inoxidable.
Tratamiento térmico	Templadora	Tanque de acero inoxidable con agitador raspador, con aislamiento y sistema de calentamiento y enfriamiento, capacidad 50kg y control de temperatura. Temperatura operación 25-50°C. Válvula de descarga inferior 2". Dimensiones: diámetro 600mm altura 500mm.
Enchocolatado	Bomba grado alimenticio	Lobular, potencia 3 HP, capacidad 6kg/h
	Dispensadores	Mediante una boquilla de rociado cae una cortina de chocolate de 50 mm. Dos unidades.
	Línea sanitaria	Tubería 2", aislada térmicamente, longitud 6000mm.
Enfriamiento	Soplador de aire frío	Tobera sopladora de aire, material acero inoxidable, 2000cfm. Dos unidades. Potencia motor 1.0HP c/u.
	Transportador de banda	Grado alimenticio, con malla de acero inoxidable (mesh 4), ancho 300 mm. Dos etapas de 2000m cada una con sistema de volteo intermedio. Potencia motor 0.5HP c/u.
Embalaje	Bandejas, recipientes herméticos.	Proceso manual, se utiliza papel estaño, pirotinas, cajas de cartulina y papel celofán.
Equipos auxiliares	Calefón	Calienta agua hasta 80°C, utiliza gas de uso industrial.
	Condicionador de aire	Enfriamiento del área de baño de chocolate y embalaje a temperatura y humedad controladas.
	Quemador de gas	Calentamiento en el proceso de cocción del turrón.
	Cisterna y bomba de presión	Cisterna de 20 m ³ , tanque de presión de 200 L y bomba de 1HP para cubrir las necesidades de agua de la planta. 50 psi
	Compresor de pistones	Potencia 7,5 HP, 80 galones, 30cfm, 75lb de presión

Fuente: INDUCOM S. A., y DEBUCCO S. A.

TABLA 35. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL PROCESO SEMI-INDUSTRIAL

PROCESO	CAPACIDAD MAXIMA kg/h	TIEMPO OPERACIÓN h/batch	COSTO DE EQUIPOS USD
BATIDO	160	0.25	2800
COCCION	100	1.17	4500
ESTRUSION	25	0.25	3800
CORTE	25	2.00	480
TEMPERADO	50	0.83	3200
ENCHOCOLATADO	25	3.00	2100
ENFRIAMIENTO	25	4.00	440
BANDA TRANSPORTADOR	25	4.00	6000
EMPAQUE	25	4.00	100
QUEMADOR A GAS			150
COMPRESOR			2100
LINEA AIRE COMPRIMIDO			300
CONDICIONADOR AIRE			400
CALEFON			280
SISTEMA DE AGUA			400
TOTAL		19.50	27050

Fuente: INDUCOM y DEBUCCO

TABLA 36. COSTO DE EQUIPOS DEL PROCESO SEMI-INDUSTRIAL

Los suministros necesarios para el funcionamiento normal de la planta de procesamiento son:

AGUA POTABLE

El consumo de agua se resume en la siguiente tabla.

Consumo mensual	60m ³ /mes
Costo del agua	0,62USD/m ³
Costo mensual	37.2USD/mes
Capacidad producción	20batch/mes
Costo total	1.86USD/batch

TABLA 37. CONSUMO DE AGUA

ELECTRICIDAD

La energía eléctrica se recibe a través del servicio público con un voltaje de 110V. Se utiliza en equipos, y alumbrado del área de trabajo.

En la tabla 38 se describe los equipos que utilizan energía, tiempos de operación y consumo eléctrico.

EQUIPO	POTENCIA DEL MOTOR		TIEMPO DE OPERACIÓN		CONSUMO ENERGIA	COSTO TOTAL
	HP	KW	Min	Horas	KJ/batch	USD
Batidora	2.00	1.50	30	0.50	0.750	0.061
Motoreductor Turrón	3.00	2.25	75	1.25	2.813	0.228
Motor del estrusor	3.00	2.25	50	0.83	1.875	0.152
Motor del cortador	1.00	0.75	180	3.00	2.250	0.182
Motoreductor Temperado	2.00	1.50	45	0.75	1.125	0.091
Motor de la bomba	3.00	2.25	180	3.00	6.750	0.547
Motor de la banda	1.00	0.75	180	3.00	2.250	0.182
Sistema de Enfriamiento	2.00	1.50	180	3.00	4.500	0.365
Condicionador de aire	1.00	0.75	480	8.00	6.000	0.486
Compresor	7.50	5.63	180	3.00	16.875	1.367
Motor Bomba de Agua	1.00	0.75	60	1.00	0.750	0.061
Alumbrado		1.00	240	4.00	4.000	0.324
TOTAL					49.938	4.045

TABLA 38. CONSUMO DE ELECTRICIDAD

COMBUSTIBLE

Se utiliza como combustible al gas de uso industrial en presentación de 45 kg. Se emplea el calor de la combustión del gas en el calentamiento del turrón, y en el temperado de la cobertura de chocolate (transferencia de calor indirecta).

COCCION DEL TURRON

Los cálculos del consumo de combustible para el proceso semi-industrial son los mismos que se realizaron en el proceso actual mejorado, debido a que el principio de funcionamiento es el mismo y sobretodo el proceso es el mismo, la única diferencia es las cantidades de ingredientes. En la tabla 39 se detalla los resultados de los cálculos para la cocción del turrón y el calentamiento del azúcar.

a) PERIODO DE CALENTAMIENTO						
		m	Cp	T ₂	T ₁	Calor
1	Calor consumido por el calentamiento de la olla	50	0,48	100	20	1920,00
2	Calor consumido para el calentamiento de la mezcla	22,75	2,132	70	20	2425,52
		ha	A	T ₂	T ₁	Calor
3	Pérdidas de calor de las paredes al medio	29,30	3,42	80	20	6005,16
4	Pérdidas de calor de la superficie al medio	3,35	1,77	45	20	148,00
	Calor de calentamiento					10498,68
b) MANTENIMIENTO						
		m	λ			Calor
5	Pérdidas de calor por evaporación del agua	1,5	2256			3384,00
		ha	A	T ₂	T ₁	
6	Pérdidas de calor de las paredes al medio	23,02	3,42	100	20	6291,12
7	Pérdidas de calor de la superficie al medio	3,99	1,77	70	20	352,43
	Calor de mantenimiento					10027,56
c) MANTENIMIENTO						
		ha	A	T ₂	T ₁	Calor
8	Pérdidas de calor de las paredes al medio	15,07	3,42	120	20	5147,28
9	Pérdidas de calor de la superficie al medio	2,60	1,77	90	20	322,02
	Calor de mantenimiento					5469,31
d) CALENTAMIENTO AZUCAR						
		m	Cp	T ₂	T ₁	Calor
10	Calor consumido por el calentamiento de la olla	4,0	0,48	125	20	201,60
11	Calor consumido para el calentamiento de la mezcla	25,4	2,45	122	20	6337,90
12	Pérdidas de calor por evaporación del agua	7,3	2256,00			16468,80
13	Pérdidas de calor de las paredes al medio	61,52	0,63	125	20	4058,66
	Calor de calentamiento					27066,96

TABLA 39. CALCULOS CONSUMO DE COMBUSTIBLE COCCION DEL TURRON

El consumo de combustible para la cocción del turrón se resume en la tabla 40.

Calentamiento	10498,68	KJ
Mantenimiento (70°C)	10027,56	KJ
Mantenimiento (90°C)	5469,31	KJ
Calentamiento azúcar	27066,96	KJ
Calor total consumido	53062,51	KJ
Poder calorífico del gas	55650	KJ/Kg
Masa de gas consumida	0,954	Kg
Costo combustible	1,33	USD/kg
Costo de gas por batch	1,27	USD

TABLA 40. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

TEMPERADO DE LA COBERTURA DE CHOCOLATE

Para obtener el consumo de combustible durante el temperado se realizan las mismas operaciones que se describe en el proceso manual mejorado (sección 4.4), solamente hay variación de las cantidades de ingredientes y las dimensiones de los equipos.

En la tabla 41, se detalla los resultados de los cálculos del temperado de la cobertura de chocolate. El calor total consumido para el calentamiento es de 1741.78KJ, y el calor que se libera en el enfriamiento es de 929.70KJ.

a) PERIODO DE CALENTAMIENTO						
		m	Cp	T ₂	T ₁	Calor
1	Calor consumido por el calentamiento de la olla	15	0,48	50	20	216,00
2	Calor consumido para el calentamiento de la mezcla	35	1,260	45	20	1102,50
		ha	A	T ₂	T ₁	
3	Pérdidas de calor de las paredes al medio	7,11	0,75	50	20	160,93
	Calor de calentamiento					1479,43
b) PERIODO DE ENFRIAMIENTO						
		m	Cp	T ₂	T ₁	Calor
4	Calor liberado por el calentamiento de la olla	15	0,48	25	50	-180,00
5	Calor liberado para el calentamiento de la mezcla	35	1,260	28	45	-749,70
						-929,70
c) PERIODO DE CALENTAMIENTO						
		m	Cp	T ₂	T ₁	Calor
6	Calor consumido por el calentamiento de la olla	15	0,48	34	25	64,80
7	Calor consumido para el calentamiento de la mezcla	35	1,260	32	28	176,40
		ha	A	T ₂	T ₁	
8	Pérdidas de calor de las paredes al medio	3,12	0,75	34	25	21,16
	Calor de calentamiento					262,36

TABLA 41. CALCULOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TEMPERADO

Por lo que en un batch de producción se consume 0.031kg de gas, que equivale a 0.04USD.

En cuanto al enfriamiento, se debe extraer 929.79 KJ mediante la circulación de salmuera (20%) a 5°C.