

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Incremento de la capacidad de producción en una línea de  
cereales para desayuno”**

**EXAMEN COMPLEXIVO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE ALIMENTOS**

Presentado por:

Carlos Gustavo Miño Chung Sang

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

## **AGRADECIMIENTO**

A las personas que contribuyeron con el desarrollo de este trabajo especialmente a mis familiares por su apoyo y comprensión.

# DEDICATORIA

A MI FAMILIA

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

MSc. Karín Coello O.  
VOCAL

---

MSc. Priscila Castillo S.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente: y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Carlos Miño Chung Sang

## RESUMEN

El proyecto se enfoca en el incremento de la capacidad de producción en una importante empresa multinacional productora de cereales para desayuno, cuando se detecta durante el año 2010 un déficit en la oferta proyectada de producto en el mercado nacional en base al crecimiento de la demanda planeada para los 5 años subsiguientes. Las principales categorías que se manejaban para cereales eran arroces crocantes y hojuelas de maíz. La capacidad instalada podía abastecer 2.850 Ton anualmente cuando se pronosticaba venta que superaría las 3.000 Ton. El equipo principal restrictivo era el extrusor (modelo BC82) por lo que se adquirió uno usado (modelo BC92) en perfectas condiciones que no estaba siendo utilizada por una de las filiales en Centroamérica que de acuerdo a históricos de producción, había trabajado a un 150% de capacidad en arroces crocantes en referencia a la capacidad del modelo BC82. La capacidad instalada del resto de equipos no restringía el uso de este nuevo equipo (excepto el proceso de envasado que posteriormente se solucionó con la entrada de un proveedor). De acuerdo a los históricos de ventas, un poco más de la mitad correspondía a arroces crocantes por lo que fue una oportunidad para poder abastecer la demanda proyectada sin necesidad de invertir en un equipo nuevo de última tecnología. Básicamente, se realizaron pruebas a diferentes valores de parámetros de trabajo (velocidad de alimentación, torque,

configuración de datos, humedad de masa). Se conformó un equipo multidisciplinario con el que logramos sacar adelante esta misión (Jefe de Manufactura, Mantenimiento, Calidad y Planificación) en el que trabajando de manera sinérgica y revisiones periódicas se logró el objetivo de establecer en 21,29% la capacidad instalada. Este proyecto tenía una vigencia de 5 años por lo que actualmente se sigue trabajando a este régimen en la compañía.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1 GENERALIDADES.....	2
1.1 Planteamiento del Problema y Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Proceso de elaboración .....	4
1.4 Alcance del proyecto .....	7



## CAPITULO 2

2 MEDICION DEL PROCESO.....	8
2.1 Definición del problema.....	8
2.2 Cálculo de la capacidad del proceso.....	9
2.3 Determinación del requerimiento necesario.....	12

## CAPITULO 3

3 ANALISIS DEL PROCESO.....	14
3.1 Evaluación del nuevo equipo.....	14
3.2 Definición de la nueva capacidad de producción.....	15

## CAPITULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	16
4.1 Conclusiones.....	16
4.2 Recomendaciones.....	17

BIBLIOGRAFIA.....	18
-------------------	----

## ABREVIATURAS

Kg/h:	Kilogramos por hora
Ton:	Toneladas
Seg:	Segundos
°C:	Grados centígrados
BC82:	Modelo de extrusor actual
BC92:	Modelo de extrusor adquirido
$F_{max}$ :	Flujo máximo
Kg:	Kilogramos
%:	Por ciento.

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2.1 Crecimiento porcentual proyectado.....	14
TABLA 2.2 Crecimiento de producto terminado proyectado.....	14
TABLA 2.3 Tiempo disponible para producción.....	15
TABLA 2.4 Paradas de producción.....	16
TABLA 2.5 Tiempo real disponible para producción por año [h/año].....	16
TABLA 2.6 Comparativo demanda proyectada vs capacidad instalada.....	17
TABLA 3.1 Evaluación a diferentes velocidades de parámetros.....	20
TABLA 3.2 Comparativo demanda proyectada vs nueva capacidad instalada .....	21

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las principales metas de las empresas productoras y comercializadoras de alimentos es la de lograr satisfacer la demanda de sus clientes con productos de altos estándares de calidad, lo cual supone un constante y agresivo cambio en las estrategias del negocio.

El objetivo principal de este trabajo es el de incrementar la productividad de una línea de fabricación a través del reemplazo del equipo designado como cuello de botella. De esta manera lograr cumplir con la demanda proyectada para los siguientes cinco años evitando que la competencia gane participación en el mercado, procurando mantenerse como líderes reconocidos en cereales para desayuno.

Este proyecto logra explicar con mucho detalle y metodológicamente la aplicación de herramientas muy sencillas para lograr cada uno de los objetivos planteados al inicio.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Planteamiento del problema y justificación

El estudio del presente proyecto se realiza en una planta de producción de cereales para desayuno de una empresa multinacional reconocida a nivel mundial.

La fábrica se encuentra estructurada por una única línea de producción, donde se producen dos categorías de cereales: arroces crocantes y hojuelas de maíz.

Para el caso específico de la etapa de extrusión, en el cual se enfoca el presente trabajo, se utiliza un equipo extrusor modelo BC82 con una capacidad másica de 380 Kg/h por igual para las dos categorías mencionadas. De acuerdo a la disponibilidad de tiempo para producir, se tiene una capacidad anual de 2.800 Ton de producto terminado. El problema surge en el momento en que, de acuerdo a la proyección realizada por el área comercial se tiene un crecimiento por encima de las 3.000 Ton para cada uno

de los siguientes años por lo que se vuelve imperativo lograr incrementar la capacidad instalada para poder abastecer dicha demanda.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

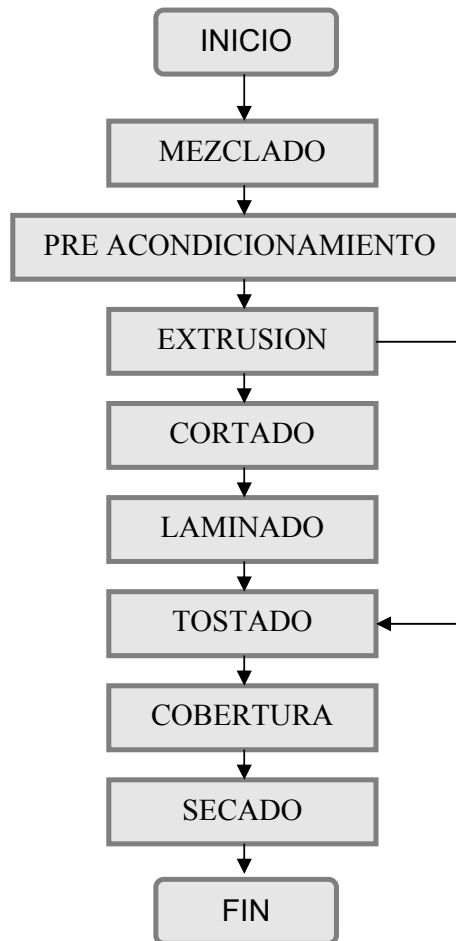
Incrementar la capacidad de una línea de fabricación en una empresa productora de cereales para desayuno.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la capacidad de producción adecuada para una empresa productora de cereales para desayuno.
- b) Diseñar el proceso de producción de cereales para desayuno a partir de una línea de fabricación establecida.
- c) Optimizar la utilización de cada una de las etapas del proceso establecido.

### 1.3. Proceso de elaboración

El proceso resumido se muestra en el diagrama de flujo siguiente (FIGURA 1.1):



**FIGURA 1.1** DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION DE CEREALES PARA DESAYUNO

A continuación se describe brevemente cada una de las etapas de elaboración de cereales para desayuno.

### **Mezclado**

Esta primera etapa es donde se realiza la mezcla de todos los ingredientes principales (varían de acuerdo a la categoría del producto). Para el caso de hojuelas principalmente gritz de maíz y para arroces crocantes arrocillo; y para ambos casos: agua, azúcar, emulsificantes, extracto de malta, colorantes y saborizantes. Las partículas tienen un tamaño < 100 micrones y pasan por un tamiz antes de pasar a la siguiente etapa.

### **Pre acondicionamiento**

La mezcla recibe un proceso previo a la extrusión con vapor de agua con la finalidad de evitar el choque térmico. El tiempo de residencia es muy corto (máximo de 30 seg) y la mezcla llega a 95°C.

### **Extrusión**

Es un proceso continuo donde se realiza una mezcla homogénea de todos los componentes y se desintegran



partículas de gran tamaño. Existe una sinergia entre energía mecánica (torque) y térmica (a través de vapor de agua).

### **Cortado**

Aplica únicamente para la categoría de hojuelas. Se realizan segmentos de las tiras que salen el equipo extrusor para la siguiente etapa.

### **Laminado**

Aplica únicamente para la categoría de hojuelas. Hay una reducción en el espesor de los segmentos para el posterior ingreso al horno.

### **Tostado**

El producto pasa por el horno tostador para lograr una disminución de humedad.

### **Cobertura**

Es la etapa en donde se realiza un bañado con cobertura (dependiendo de la naturaleza del producto).

**Secado**

Etapa final del proceso de elaboración con la finalidad de reducir la humedad para ingresar al área de envasado/empaque.

**1.4. Alcance**

El presente proyecto incluye la evaluación de la etapa de extrusión en una línea de fabricación en una empresa multinacional que comercializa cereales para desayuno.

# CAPÍTULO 2

## 2. MEDICION DEL PROCESO

### 2.1. Definición del problema

El problema surge en el momento en que el área comercial genera una proyección de ventas para los siguientes 5 años. En la siguiente tabla se muestra el crecimiento porcentual en relación al año anterior (ver Tabla 2.1):

Proyección Demanda	2011	2012	2013	2014	2015
[%]	12%	7,20%	5,80%	4,70%	4,00%

**TABLA 2.1** Crecimiento porcentual proyectado (5 años)

Esta información traducida en términos de kilogramos de producto terminado queda de la siguiente manera (ver Tabla 2.2):

Proyección Demanda Cobertura	2011	2012	2013	2014	2015
Hojuelas [Kg]	1.304.956	1.398.913	1.480.050	1.549.612	1.611.596
Arroces Crocantes [Kg]	1.377.882	1.477.089	1.562.760	1.636.210	1.701.659
<b>TOTAL [Kg]</b>	<b>2.682.838</b>	<b>2.876.002</b>	<b>3.042.810</b>	<b>3.185.822</b>	<b>3.313.255</b>

**TABLA 2.2** Crecimiento de producto terminado proyectado (5 años)

De esta manera se evidencia que se proyecta la demanda por encima de las 3.000 Ton a partir del tercer año siguiente.

## 2.2. Cálculo de la capacidad del proceso

Para el cálculo de capacidad del proceso con el equipo extrusor BC82, se realiza un análisis de tiempo disponible para producir en el año. Para este efecto, se calcula las horas totales (ver Tabla 2.1):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Semanas</b>	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	<b>52</b>
<b>Horas</b>	672	672	840	672	672	840	672	672	840	672	672	840	<b>8.736</b>

**TABLA 2.3** Tiempo disponible para producción.

Luego, se define los tiempos muertos no productivos (tanto programados como no programados, en este último caso es una estimación de acuerdo a históricos):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Cambio de línea [h]</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	<b>180</b>
<b>Cambio de sabor [h]</b>	3,5	3,5	5,25	3,5	3,5	5,25	3,5	3,5	5,25	3,5	3,5	5,25	<b>49</b>
<b>Mantenimiento preventivo [h]</b>	336	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	<b>424</b>
<b>Arranque/Cierre [h]</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	<b>48</b>
<b>Feridos [h]</b>				24	48		24	24				120	<b>240</b>
<b>Limpieza General [h]</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	<b>144</b>
<b>TOTAL PAROS PROGRAMADOS [h]</b>	370,5	42,5	44,25	66,5	90,5	44,25	66,5	66,5	44,25	42,5	42,5	164,3	<b>1.085</b>
<b>Daño de equipos [h]</b>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	<b>288</b>
<b>TOTAL PAROS NO PROGRAMADOS [h]</b>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	<b>288</b>
<b>TOTAL PARADAS [h]</b>	394,5	66,5	68,25	90,5	114,5	68,25	90,5	90,5	68,25	66,5	66,5	188,3	<b>1.373</b>

**TABLA 2.4** Paradas de producción.

Finalmente, la diferencia es la que da el tiempo real de producción (ver Tabla 2.3):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>TIEMPO REAL DE PRODUCCION [h]</b>	277,5	605,5	771,8	581,5	557,5	771,8	581,5	581,5	771,8	605,5	605,5	651,8	<b>7.363</b>

**TABLA 2.5** Tiempo real disponible para producción por año [h/año]

Por lo tanto, el tiempo real disponible para producir por año es de 7.363 horas (considerando que la planta trabaja en un régimen continuo 24 horas y 7 días a la semana).

Considerando que el equipo cuello de botella de la línea de producción es el extrusor BC82 (380 Kg/h), se obtiene la capacidad instalada de la línea mediante la siguiente ecuación:

$$F_{\max} = V_E \times \text{TRP}$$

Donde,

$F_{\max}$ : Flujo máximo [Kg]

$V_E$ : Flujo másico del equipo BC82 [Kg/h]

TRP: Tiempo real productivo [h]

Reemplazando,

$$\begin{aligned} F_{\max} &= (380 \text{ Kg/h}) \times (7.363 \text{ h}) \\ &= 2'797.940 \text{ Kg} \end{aligned}$$

De esta manera, se evidencia un déficit en la oferta de producto (ver Tabla 2.4):

Proyección Demanda Cobertura	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL [Kg]	2.682.838	2.876.002	3.042.810	3.185.822	3.313.255
Capacidad BC82 [Kg/h]	2.797.940	2.797.940	2.797.940	2.797.940	2.797.940

**TABLA 2.6** Comparativo demanda proyectada vs capacidad instalada [Kg]

Es importante mencionar que hay la disponibilidad de obtener un equipo extrusor de mayor capacidad BC92 pero que únicamente trabaja para la categoría de arroces crocantes.

### 2.3. Determinación del requerimiento necesario

Para determinar la capacidad instalada necesaria para abastecer el crecimiento en la demanda se utiliza Solver de Excel, considerando los parámetros como se indica a continuación:

Función objetivo:                     $\text{máx } F = X_1 T_1 + X_2 T_2$

Donde,

$X_1$ : Capacidad equipo 1 –BC82- [Kg/h]

$T_1$ : Tiempo disponible equipo 1 [h]

$X_2$ : Capacidad equipo 2 –BC92- [Kg/h]

$T_2$ : Tiempo disponible equipo 2 [h]

Restricciones:

$X_1 \leq 380$                     Capacidad máxima BC82 [Kg/h]

$X_2 \leq 600$                     Capacidad equipo cuello de botella [Kg/h]

$T_1 + T_2 = 7.363$             Tiempo real disponible para producción [h]

$X_1 T_1 \geq 1.537,812$         Requerimiento de hojuela de maíz [Kg/año]

$X_2 T_2 \geq 1.396,198$  Requerimiento de arroz crocante [Kg/año]

Se busca maximizar la capacidad instalada de producción considerando las restricciones para determinar la meta a la que debe llegar el equipo de reemplazo para lograr el objetivo principal planteado en este proyecto.

Una vez ejecutado Solver, se obtiene los siguientes resultados:

Función objetivo (maximizada): 3'527.487,70 [Kg]

Valores de los parámetros:

Capacidad equipo 1:	380	[Kg/h]
Tiempo disponible equipo 1:	4.046,90	[h]
Capacidad equipo 2:	600	[Kg/h]
Tiempo disponible equipo 2:	3.316,10	[h]

De esta manera, se determina que el flujo máximo óptimo obtenido teóricamente en el que se debe establecer el nuevo equipo es de 600 Kg/h.



# CAPÍTULO 3

## 3. MEJORAMIENTO DEL PROCESO

### 3.1. Evaluación del nuevo equipo

Una vez determinada la capacidad teórica objetivo, se procede a evaluar el rendimiento del equipo para ajustarlo a un valor real y sustentable en el tiempo.

Se realizan pruebas a velocidades cercanas a 600 kg/h obteniendo los resultados (ver Tabla 3.1):

[Kg/h]	% Humedad (< 15%)	% Tamaño (< 100%)	¿Cumple ambas condiciones?
500	14,07%	97%	Sí
525	14,35%	98%	Sí
550	14,50%	100%	Sí
575	14,75%	105%	No
600	15,20%	107%	No

**TABLA 3.1** Evaluación a diferentes velocidades de parámetros principales.

Donde se evalúan dos parámetros importantes (humedad y tamaño del producto), definiéndose en 550 Kg/h la nueva capacidad en la cual trabaja el equipo BC92.

### 3.2. Definición de la nueva capacidad de producción

Con 550 Kg/h (BC92) y 380 Kg/h (BC82) la capacidad de producción queda de la siguiente manera:

Proyección Demanda Cobertura	2011	2012	2013	2014	2015
Hojuelas [Kg]	1.304.956	1.398.913	1.480.050	1.549.612	1.611.596
Arroces Crocantes [Kg]	1.377.882	1.477.089	1.562.760	1.636.210	1.701.659
<b>TOTAL [Kg]</b>	<b>2.682.838</b>	<b>2.876.002</b>	<b>3.042.810</b>	<b>3.185.822</b>	<b>3.313.255</b>
Capacidad BC82 + BC92 [Kg/h]	<b>3.393.587</b>	<b>3.393.587</b>	<b>3.393.587</b>	<b>3.393.587</b>	<b>3.393.587</b>

**TABLA 3.2** Comparativo demanda proyectada vs nueva capacidad instalada [Kg].

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Se logró incrementar 21,29% la capacidad instalada de la línea de producción con la inclusión del equipo extrusor BC92 de 2.800 a 3.400 Ton anualmente. De esta manera se aseguró el abastecimiento estimado de producto hasta el año 2.015 (Demanda proyectada 3.313 Ton).

La velocidad másica a la que trabajó el extrusor quedó establecida en 550 Kg/h cumpliendo los requerimientos de mercado, tanto en cantidad como en calidad.

El proceso quedó con un diseño similar al anterior con la particularidad de que se logró reducir los tiempos de cambio de categoría de productos ya que se realizan en equipos diferentes.

La utilización de los equipos posteriores al extrusor para el caso de arroces crocantes aumentó del 55% al 80% con la nueva capacidad instalada.

#### **4.2. Recomendaciones**

El presente proyecto es útil para los siguientes 5 años, ya que posterior a este tiempo se proyecta un crecimiento por encima de las 3.400 Ton que se ha logrado establecer como nueva capacidad instalada, por lo que se recomienda realizar un análisis similar al realizado en este estudio para encontrar una nueva estrategia en el negocio.

Para ayudar a mantener el abastecimiento en el mercado se debe ir ajustando pequeñas desviaciones en el proceso tales como reducción de tiempo de mantenimiento preventivo, incremento de rendimiento de masa, minimizar el desperdicio en cada una de las etapas del proceso y evitar cualquier tiempo muerto adicional a los programados.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. P. Fellows, "Food Processing Technology, Principles and Practice", 2.000, Second Edition, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
2. John Wiley, "Ingeniería de Alimentos, Operaciones Unitarias y prácticas de laboratorio", 2.003, Editorial Limusa. Capítulo 17: Cocimiento de los alimentos por extrusión.
3. Richard Johnson, "Probabilidad y estadística para Ingenieros de Miller y Freund", 1.997, Prentice Hall.