

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**



**TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA**

**“Diseño y programación de una Metaheurística para el secuenciamiento de la producción”**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

Presentado por:

**Rómulo Sevilla Sánchez**

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**INGENIERÍA EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

**INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA**

Habiendo sido nombrado PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA del  
señor,

**RÓMULO SEVILLA SÁNCHEZ**

Con el tema del proyecto integrador “Diseño y programación de una Metaheurística para el secuenciamiento de la producción”, previa a la obtención del título de INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE, me permito informar que he leído el contenido y he revisado el formato del proyecto integrador, luego de lo cual indico que estoy de acuerdo en que el mismo se lo ha desarrollado conforme a los lineamientos de la Unidad de Titulación Especial de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de mayo del 2017

**GUILLERMO ALEJANDRO BAQUERIZO PALMA  
PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría, salud y fuerzas para seguir adelante, a mis padres, hermanos y familia por todo el apoyo otorgado de manera incondicional, a mis maestros de la prestigiosa universidad por haber impartido sus conocimientos de manera altruista, a mis compañeros por estar en el día a día de nuestros estudios, al tutor de la materia de proyecto de graduación por su paciencia, consejos y conocimientos académicos que llevaron a terminar dicho proyecto. Y finalmente a mi novia María Gabriela que está conmigo aconsejándome de forma incondicional, siendo parte de mi vida y en todos los momentos.

*Rómulo Sevilla Sánchez*

## **DEDICATORIAS**

Agradezco a mi tutor de tesis, Ingeniero Guillermo Alejandro Baquerizo Palma por su dedicación, seguimiento y contribución a la culminación exitosa de este proyecto en modalidad de materia integradora. Igualmente, a los profesores de la carrera en Ingeniería en Logística y Transporte de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas por sus asesorías y buena disposición frente a la aclaración de las inquietudes que surgieron durante este tiempo, a la empresa que facilitó muy cordialmente el ingreso para realizar dicho estudio y, en general, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por el apoyo ofrecido durante el desarrollo de este trabajo.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de este informe del proyecto de graduación corresponde exclusivamente al autor Rómulo Sevilla Sánchez y al patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Rómulo Sevilla Sánchez

## RESUMEN

La siguiente investigación se la realizó en una empresa que se dedica a la elaboración de cereales, con una línea de producción continua; la misma que está ubicada en Guayaquil.

El objetivo del proyecto está enfocado en realizar un estudio para encontrar un secuenciamiento de producción direccionado en un solo tipo de producto con diferentes sabores, el cual se la realiza con la misma máquina, pero teniendo en cuenta ciertos parámetros como tiempos de: fabricación de cada tipo de producto teniendo en cuenta la cantidad a elaborar y de la preparación de cada máquina dependiendo del tipo de sabor a realizar, limpieza y calibración.

Dado los parámetros se desea determinar el lineamiento óptimo para que las horas de producción reduzcan de horas muertas entre paradas. Se planteó un modelo matemático GRASP para el secuenciamiento de producción ya que los tiempos de setup entre sabores y elaboración de kg/hr entre distintos productos.

Como consecuencia, lograremos obtener el secuenciamiento de las órdenes de trabajo por sabores y los kilogramos de masa que se necesita al inicio de cada producción, teniendo como resultado números de pallet de producción requeridos y tiempo de producción total por demanda de producción. Se pudo realizar una simulación de la producción basándose en los kg/hora de cada producto.

Palabras clave: GRASP, tiempos de producción, tiempos de setup, secuenciamiento

## ABSTRACT

*The following research was made in a company dedicated to the production of cereals, with a continuous production line; the same that is located in Guayaquil city.*

*The aim of the project is focused on conducting a study to find a sequencing production addressed in a single type of product with different flavors, which is done with the same machine but taking into account certain parameters such as time of manufacture of each type of product taking into account the quantity to be elaborated and the preparation of each machine depending on the type of flavor to realize, cleaning and calibration.*

*Given the parameters, it is desired to determine the optimum guideline for dead production hours to be reduced between stops. A GRASP mathematical model was proposed for the sequencing of production since the setup times between flavors and elaboration of kg / hr between different products*

*As a consequence, we will be able to obtain the sequencing of work orders per flavors and kilograms of mass required at the beginning of each production, resulting in required production pallet numbers and total production time by production demand. A simulation of the production could be made based on the kg / hour of each product.*

*Keywords: GRASP, production times, sequencing, setup times*

.

# TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS .....	II
DECLARACIÓN EXPRESA .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
TABLA DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XI
ACRÓNIMOS .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.3 PROBLEMÁTICA .....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.5 HIPÓTESIS .....	5
1.6 OBJETIVOS .....	5
1.6.1 GENERAL.....	5
1.6.2 ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO 2 .....	6
2 MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	12
CAPÍTULO 3 .....	13
3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....	13
3.1 INTRODUCCIÓN.....	13



3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	14
3.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	16
3.4 DIRECCIÓN DE PROCESO.....	17
 CAPÍTULO 4 .....	 21
4 ANÁLISIS DE DATOS.....	21
4.1 INTRODUCCIÓN.....	21
4.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO.....	22
4.1.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA.....	22
4.1.3 DIAGRAMA DEL SISTEMA .....	24
 4.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	 25
4.2.1 CÁLCULO DEL SISTEMA .....	28
4.2.2 MODELO MATEMÁTICO.....	36
4.2.3 REPRESENTACIÓN DE LA HEURÍSTICA PARA EL PROBLEMA DE FLOW SHOP SCHEDULING .....	38
4.2.4 FUNCIÓN OBJETIVO .....	38
4.2.5 SUPUESTOS.....	38
 4.3 REPRESENTACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA .....	 39
4.3.1 DESCRIPCIÓN del GRASP .....	39
4.3.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL GRASP .....	40
4.3.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN [ $g$ , $\alpha$ , $x$ ] .....	40
4.3.4 ESTRUCTURA DEL ALGORITMO GRASP .....	41
 4.4 FASE DOS .....	 41
4.4.1 FASE DE BÚSQUEDA LOCAL.....	41
4.4.2 PROCEDIMIENTO LOCAL ES [ $f(\cdot)$ , $h(\cdot)$ , $x$ ] .....	42
4.4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
4.4.4 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO .....	42
4.4.5 SETUP .....	43
4.4.6 MAKESPAN SOLUCIÓN .....	43

CAPITULO 5 .....	44
5.1 CONCLUSIÓN.....	45
5.2 RECOMENDACIÓN .....	45
BIBIOGRAFÍA.....	46

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 MATERIA PRIMA O CEREAL .....	2
ILUSTRACIÓN 2 PRODUCCIÓN DE CEREAL.....	3
ILUSTRACIÓN 3 TRABAJO SEMI-MANUAL DE CEREAL .....	4
ILUSTRACIÓN 4 TRATAMIENTO CON ANIMAS .....	7
ILUSTRACIÓN 5 PARTES DEL DOSIFICADOR.....	8
ILUSTRACIÓN 6 PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN DE BARRAS DE CEREAL .....	9
ILUSTRACIÓN 7 DIAGRAMA DE FLUJO-LÍNEA DE PRODUCCIÓN AREQUIPE .....	10
FUENTE: CREADO POR LOS ILUSTRACIÓN 8 SIMULACIÓN DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA .	11
ILUSTRACIÓN 9 DIAGRAMA DE FLUJO .....	15
ILUSTRACIÓN 10 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	16
ILUSTRACIÓN 11 PROCESOS.....	18
FUENTE ILUSTRACIÓN 12 PRODUCCIÓN.....	20
ILUSTRACIÓN 13 DEFINICIÓN DEL SISTEMA .....	24
ILUSTRACIÓN 14 LIMPIEZA .....	26
ILUSTRACIÓN 15 CALIBRACIÓN.....	26
ILUSTRACIÓN 16 PRODUCCIÓN DEL CEREAL .....	28

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 TIEMPOS DE SET UP POR PRODUCTO.....	25
TABLA 2 PORCENTAJES DE CALIBRACIÓN DE CADA MÁQUINA.....	27
TABLA 3 MATRIZ DE PROGRAMACIÓN POR PRODUCTO.....	27
TABLA 4 ARMADO Y PESAJE DE UN PALLET .....	28
TABLA 5 DEMANDA DE MATERIA PRIMA .....	29
TABLA 6 DISTRIBUCIÓN DE LA MASA SECCIÓN BOMBO CONFITADOR .....	31
TABLA 7 ENVASADO PALLET .....	31
TABLA 8 INGREDIENTES ELABORACIÓN PRODUCTO 2.....	32
TABLA 9 ENVASADO PALLET .....	32
TABLA 10 INGREDIENTES ELABORACIÓN PRODUCTO 3.....	33
TABLA 11 ENVASADO PALLET.....	33
TABLA 12 INGREDIENTES ELABORACIÓN PRODUCTO 4.....	34
TABLA 13 ENVASADO PALLET .....	34
TABLA 14 INGREDIENTES ELABORACIÓN PRODUCTO 5.....	35
TABLA 15 ENVASADO PALLET .....	35
TABLA 16 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO .....	42
TABLA 17 SETUP F .....	43

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Análisis de tarea:** Es la determinación de los factores principales de una división concreta de trabajo y de las cualidades que debe reunir un trabajador para la ejecución de la tarea.

**Análisis de procedimientos:** El análisis de un proceso se define como la descomposición o subdivisión de un proceso de elaboración de un proceso administrativo en sus operaciones, componentes y en sus movimientos de materia prima.

**Accesorio de manejo manual:** Es un término que se refiere a todos los mecanismos utilizados en la manipulación de los instrumentos junto con los dispositivos de ayuda que pueden ser necesarios para completar las unidades de trabajo.

**Área de operación o trabajo:** Para trabajos manuales se ocupa un área donde un ser humano puede controlar a un objeto, se subdivide en zona normal y zona máxima llamada taller.

**Auxiliar o ayudante:** Persona que facilita en los requerimientos de materia prima e insumos a bodega lejos de la máquina o puesto de trabajo.

**Batch:** Procesos donde existen tiempos de espera debido a la ruptura de la producción en panta.

**Batch por día:** Número de paras de la producción

**Calibración:** Elemento utilizado como patrón con el cual se comprueba la exactitud del trabajo a realizar.

**Calidad:** Es el conjunto de revisiones o muestras tomadas al producto para la aceptación y disposición de venta según el cumplimiento de ciertas normas.

**Capacidad de llenado:** Cantidad de producto terminado o materia prima envasada por determinado tiempo de elaboración.

**Control:** Garantizar de que todo lo que sucede está de acuerdo con las instrucciones y estándares establecidos.

**Datos:** Información necesaria para el registro de un hecho o acontecimiento.

**Desperdicio:** Materia prima o tiempo fuera de servicio sin terminar los procesos u operaciones el cual tiene algún valor monetario.

**Dirección:** Alistar, ordenar, y dirigir el esfuerzo humano aplicado al mando las fuerzas y a utilizar los materiales de la organización en beneficio del hombre.

**Elementos constantes:** Tiempo de ejecución o de trabajo que siempre es igual.

**Elementos de la operación:** Elementos de un trabajo que con una serie de movimientos en un ciclo que pueden reconocerse detallarse y registrarse concretamente.

**Elementos manuales:** Son objetos que necesitan la manipulación de un trabajador.

**Elementos mecánicos:** Son los realizados por una máquina a base de fuerza motriz.

**Materia prima:** Recurso que se necesita para la elaboración del producto para ser terminado.

**Makespan:** Algoritmo de secuenciamiento para determinar el orden de trabajos a realizar.

**Operador:** Persona que tiene conocimiento de la maniobra de la máquina y del trabajo a realizar.

**Tiempo neto de trabajo:** Total de horas trabajadas sin contar horas muertas de no producción.

**Unidades por día:** Total de unidades elaboradas al fin de la jornada de producción

**Embalaje:** Protección externa que protege el producto terminado, esta puede estar una funda o una caja.

**Envase:** Objeto o recipiente que guarda al producto para ser transportado o almacenado, esta puede ser una caja o una lata.

**Empaque:** Es el encargado de presentar marketing al producto, este puede estar impreso.

**Caja:** Envase que transporta el producto para ser vendido.

**Pallet:** Plataforma que transporta de manera ordenada un conjunto de cajas para su fácil estiba.

**Setup:** Inicio de un proceso.

# ACRÓNIMOS

**BC** bombo confitador

**BP** bombo pelé

**E** Extrusor

**ESPOL** Escuela Superior Politécnica del Litoral

**FLOW SHOP** Heurística de secuenciamiento

**GRASP** Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

**H** horno

**HR** horas

**HS** horno secador

**IS** inspección y secado

**KG** Kilogramos

**MAKESPAN** Problema de secuenciamiento

**MAX** Maximización

**MIN** Minimización

**MP** materia prima



**L** laminadora

**SETUP** Tiempo de preparación de la máquina

**TP** Tiempo de producción

**TS** tiempos de setup

**RCL** Lista de candidatos restringida

# **CAPÍTULO 1**

## **1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo presentamos una reseña de la empresa, donde señalaremos todas las características de los problemas encontrados, los hechos actuales y antecedentes de la empresa, planteamiento de hipótesis y demostración con respectiva justificación del problema a resolver.

## 1.2 ANTECEDENTES

La empresa, llamada **CEREALES S.A** por su declaración de privacidad, a la que dedicaremos nuestro estudio, fue fundada en 1898 y se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil; esta se encarga de producir cereales en diferentes tipos de presentaciones, pero solo se tomaran en cuenta una de ellas: cajas de 14 kg.

La planta cuenta con 4 máquinas en el área de elaboración de cereales la cual es considerada una línea para su producción que se la realiza en tres turnos de trabajo continuo hasta que se termine el plan de producción. Cuenta con 8 personas para los diferentes procesos por turno.

El enfoque de este estudio se basa en el sistema de producción en línea, el cual se subdivide en tres líneas continuas de fabricación acordes a la demanda del mercado. Dicho proceso contiene tres partes generales o claves que son mencionados por fase: mezclado, maduración y el envasado.

*Ilustración 1 **Materia prima o cereal***



Fuente: Creado por los autores.

### 1.3 PROBLEMÁTICA

Producción:

- Tiempos de preparación de máquina (Setup).
- Tiempo de producción.

Almacén

- Las órdenes de producción no están listas sin previa alimentación de bodega.

Capacidad:

- Se establece investigar la capacidad de trabajo de las máquinas en ciertas etapas descritas más adelante (porcentajes de ingredientes).
- Se podrá evidenciar que cuanto de materia prima es reducida lo cual dificulta poder abarcar toda la salida del producto del equipo anterior para utilizarlo como entrada de la siguiente máquina, es decir, la productividad de ciertos equipos se limita a la restricción que tiene toda la línea.

*Ilustración 2 Producción de cereal*



Fuente: Creado por los autores.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

**CEREALES S.A** realiza sus operaciones de forma semi-manual, de manera que los tiempos de trabajo respectivos a cada fase de elaboración de cereales poseen mucha variabilidad, y no poseen un plan esquematizado de trabajo de tal manera que se ha sugerido elaborar un secuenciamiento de los procesos de elaboración de los cereales por procesos donde detalle tiempos de elaboración, paralizaciones o espera, setup de máquinas, kilogramos de mezcla que se necesita por demanda, kilogramos de mezcla que se necesita por ingredientes.



*Ilustración 3 Trabajo semi-manual de cereal*

Fuente: Creado por los autores.

## **1.5 HIPÓTESIS**

- Se pretende realizar un secuenciamiento para minimizar los tiempos de producción en la elaboración de la línea de cereales.
- Se espera reducir los tiempos de preparación de máquina (Setup).
- Se podrá reducir los tiempos de producción total.
- Esperamos poder plantear una propuesta estandarizada de secuenciamiento de actividades por procesos.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 GENERAL**

Encontrar un secuenciamiento para la elaboración de los diferentes productos en los respectivos procesos.

### **1.6.2 ESPECÍFICOS**

- Establecer un modelo matemático que nos permita optimizar la secuencia de la línea de cereal.
- Encontrar secuenciamiento de las actividades de los diferentes procesos de producción de cereal mediante la aplicación de la Heurística Grasp.
- Estandarizar los tiempos de preparación de máquina (Setup).
- Esquematizar mediante una aplicación en Excel para encontrar los kilogramos de ingredientes y mezcla que se van a necesitar por demanda.

# **CAPÍTULO 2**

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se definirá las ideas principales del proyecto en comparación con las diferentes investigaciones que están de acuerdo al tema que se está desarrollando con el fin que se conviertan en guía para una correcta implementación.

## 2.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo, se revisará diferentes teorías acerca del balance de línea de los procesos de producción, la cual detallamos a continuación en la revisión de la literatura

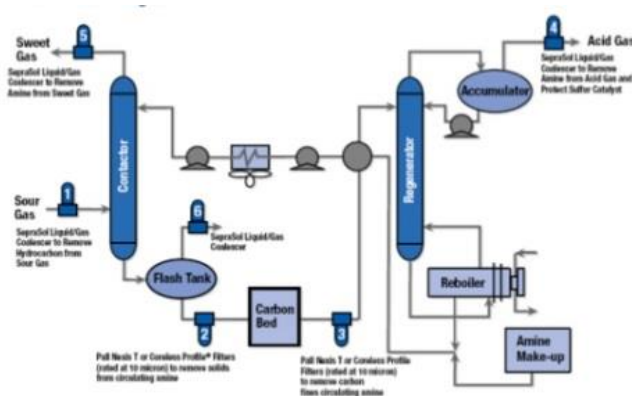
### 2.2.1 SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GAS COMBUSTIBLE CON AMINAS DE LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS

Este artículo científico publicado en octubre del 2013 por la Universidad central del Ecuador el cual fue elaborado por Wilson Fabricio Vásquez Romero pertenecientes a la facultad de ingeniería química de la especialización de ingeniería química.

El proyecto se basa en la simulación de un proceso de tratamiento de gas de la Refinería Estatal mediante un proceso de absorción.

Una parte fundamental para la solución de este problema fue recurrir a los datos de composición, especificaciones de diseño y condiciones de operación para generar el modelo a simular, esto llevó a cambiar las condiciones reales e históricas para generar un modelo que prediga las composiciones de salida.

*Ilustración 4 Tratamiento con aminas*



Fuente: Creado por los autores.

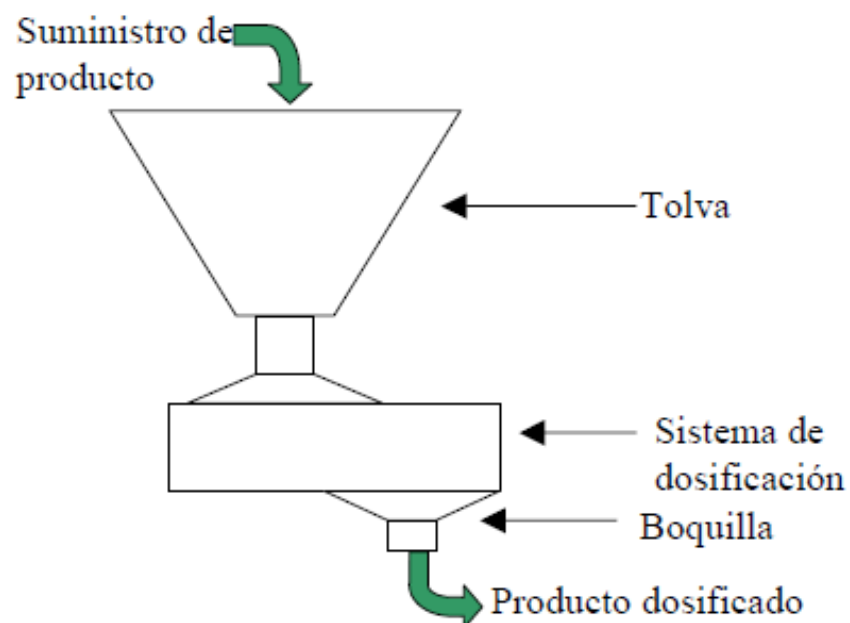


## 2.2.2 DISEÑO, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE ALIMENTO GRANULADO PARA ANIMALES

Este artículo científico publicado en el año 2006 por la Universidad de la Salle, Bogotá D.C. el cual fue elaborado por Carlos Humberto pinto fajardo pertenecientes a la Facultad De Ingeniería De Diseño Y Automatización Electrónica.

El proyecto de grado previo a la obtención por el título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica, proyecto la cual se basa en la producción de alimentos para animales, sector especial en el país. Se hace necesario diseñar una máquina para los procesos de dosificación y se realiza una simulación para garantizar el mejoramiento de los procesos industriales.

*Ilustración 5 Partes del dosificador*



Fuente: Creado por los autores.

### 2.2.3 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE HOJAS DE INSTRUCCIÓN DE TRABAJO Y PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BARRAS DE CEREALES.

Este artículo científico publicado en el año 2014 por la Universidad de Tecnológica de Querétaro, México. El cual fue elaborado por Abrahán Banda Ruíz como requisito para obtener el título en Ingeniero en Procesos y Operaciones Industriales.

Implementación de documentación para la mejora y control de los procesos industriales e instrucciones de trabajos con el objetivo de monitorear y controlar procesos y disminuir o eliminar deficiencia en la elaboración de los productos de diferentes líneas de producción.

*Ilustración 6 Procedimientos de elaboración de barras de cereal*



Fuente: Creado por los autores.

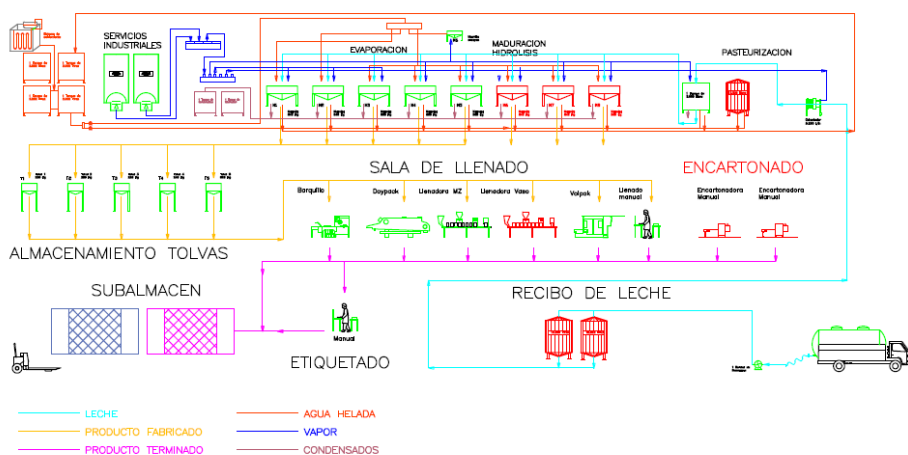
## 2.2.4 ANÁLISIS POR SIMULACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AREQUIPE ANTAÑO EN LA EMPRESA ALQUERÍA

Este artículo científico publicado en el año 2014 por la Universidad de la Sabana Colombia - Chía la cual fue elaborado por Leonardo Salamanca Fandiño como requisito para obtener el título de Magister en Gerencia de Operaciones perteneciente a la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas.

En la presente investigación se pretende desarrollar un criterio de diagnóstico para detectar los cuellos de botella de la línea de elaboración del manjar, llevando a cabo la simulación del proceso como alternativa de implementación para la ejecución de la gestión de producción.

Se va a investigar mediante experimentación los valores o requerimientos que permitan a la propuesta llegar a obtener un mejor desempeño planteando mejora en las soluciones.

Ilustración 7 Diagrama de flujo-línea de producción Arequipe



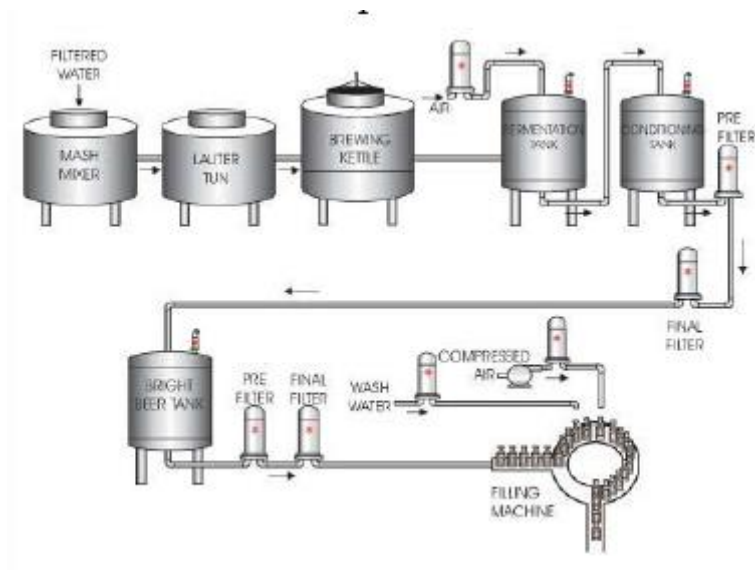
Fuente: Creado por los autores.

## 2.2.5 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN MÉXICO

Este artículo científico publicado en el año 2013 por el Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México, la cual fue elaborado por René Meza Flores como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Mecánica.

La presente investigación se la realizó con el fin de diseñar y simular un equipo que abarque todos los procesos de forma estandarizada para la producción de cerveza aplicando tecnología nacional con el objetivo de utilizar la producción requerida de cerveza nacional.

*Fuente: Creado por los Ilustración 8 Simulación de producción de cerveza*



Fuente: Creado por los autores.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

La siguiente investigación de los procesos de producción de cereal de la empresa de Cereales S.A. están enfocados a las actividades de operación de proceso en la elaboración de la línea continua de cereal.

El proceso de producción de cereal iniciará con la combinación de los ingredientes en la máquina mezcladora, pasando por todo el proceso, hasta llegar al envasado del mismo en sus diferentes presentaciones.

Para el desarrollo de esta investigación se enfocará en la línea de bolitas de cereal de cinco sabores, orientándose en las áreas a investigar que son mezcla procesamiento y envasado.

Este capítulo analiza técnicas que ayudará al desarrollo de los objetivos específicos que son tiempos de procesamiento y tiempos de setup de las máquinas, minimizar tiempos muertos de las máquinas.

Tiempos de producción

Tiempo que toma la máquina en terminar el proceso respectivo de un tipo de sabor.

Tiempos de preparación de máquina (Setup)

Tiempo de tarda en preparar la máquina para empezar las operaciones.

Minimizar tiempos muertos de máquinas

Tiempo de limpieza de las diferentes máquinas de la línea y la calibración respectiva para el arranque de la elaboración de cereal.

Simular proceso

Establecer en Excel un formato para encontrar las cantidades en kilogramos de mezcla e ingredientes dada las demandas en cajas.

# **CAPÍTULO 3**

## **3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta la metodología que se seguirá para el desarrollo del proyecto investigador, el cual está conformado por: recolección de datos, diagramas de flujo y la calendarización de actividades durante la realización del trabajo. Como aporte adicional, se presenta el diseño de los procesos que se trabaja en la actualidad.

### **3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS**

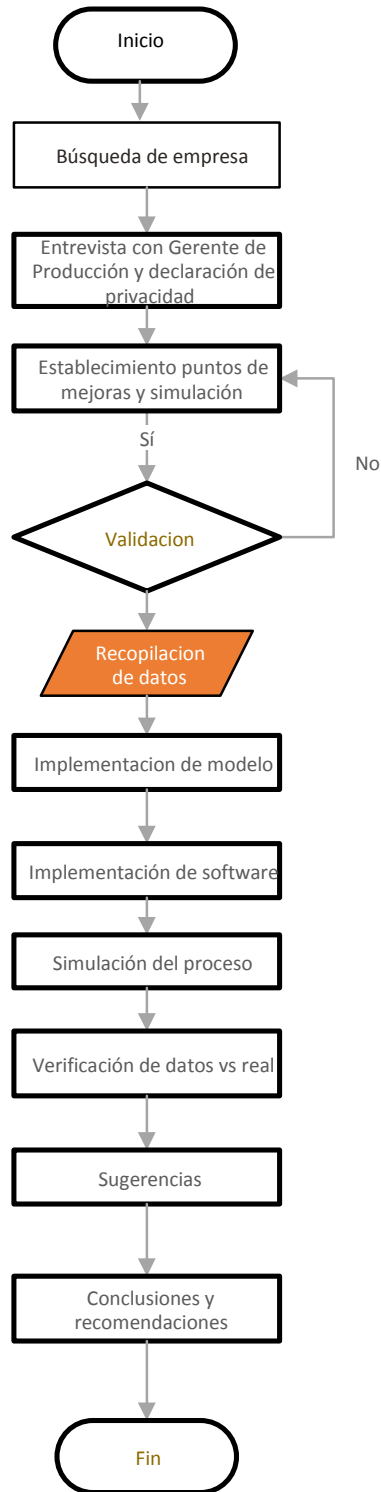
Para llevar a cabo el proyecto investigador, se recurrió a la búsqueda de una empresa que permita el acceso a sus instalaciones y la disponibilidad de compartir información de los procesos, los cuales son esenciales para la elaboración de los productos elaborados en la misma.

Se requirió de una solicitud al área de coordinación de la carrera de Logística y Transporte para obtener una entrevista con el Gerente de Talento humano, enfatizando el tema para realización de proyecto de investigación como requisito a la obtención del título de Ingeniero en Logística y Transporte.

Al tener la aceptación de la empresa, se procedió a la respectiva visita de las instalaciones, reservando detalles con motivos de confidencialidad tales como: nombre de la empresa y de productos que se realizan, precios, cantidades, distribuidores, forma de producción, planos, layout de los diferentes procesos específicamente detallados por procesos y normativas. Una vez aceptados los puntos de confidencialidad se procedió al ingreso del sistema, conformación de los procesos.

Se representará el cronograma de flujo de actividades realizadas durante la investigación para una mayor visualización acorde a las mismas, que se cumplieron durante el proceso de investigación.

*Ilustración 9 Diagrama de flujo*



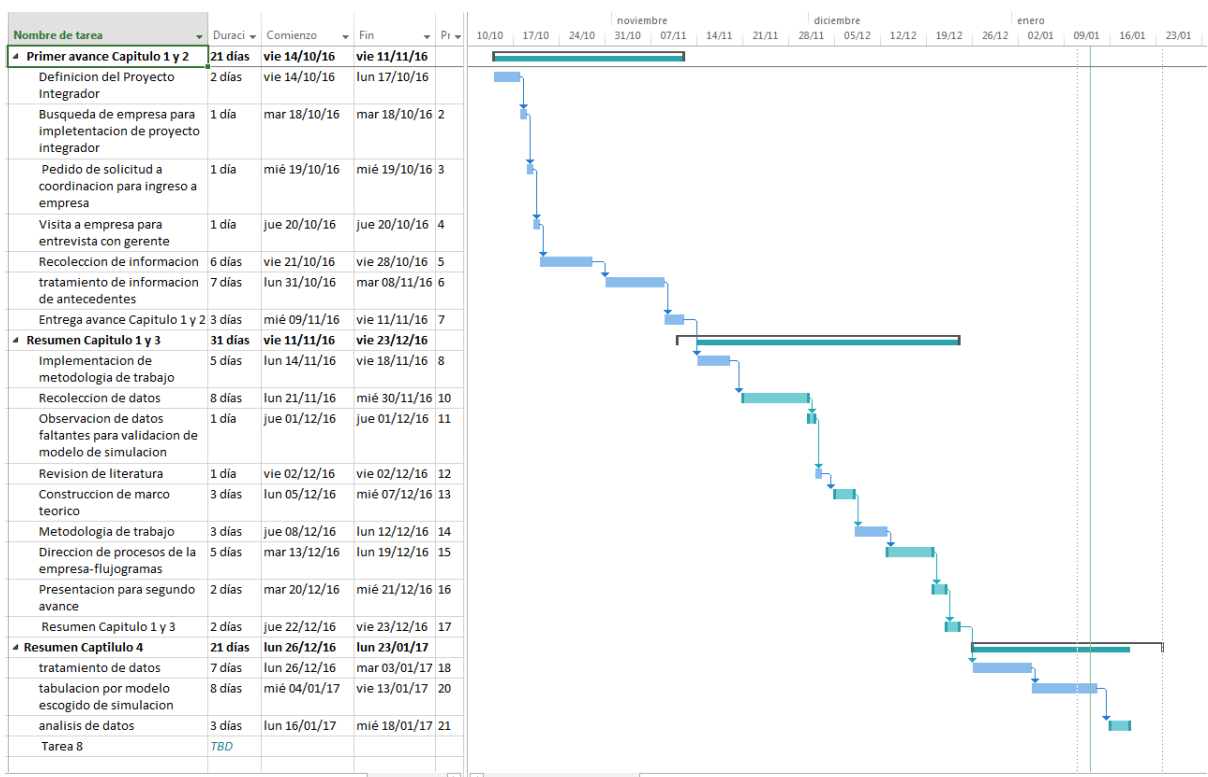
*Fuente: Creado por los autores.*



### 3.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Como requisito de este punto, se diseñará un cronograma donde se observará más detalladamente los intervalos de tiempo tomados para el desarrollo de la investigación, los cuales se ingresarán en el software MS-Project, especificando las tareas con las respectivas dependencias de los procesos realizados.

Ilustración 10 Cronograma de actividades



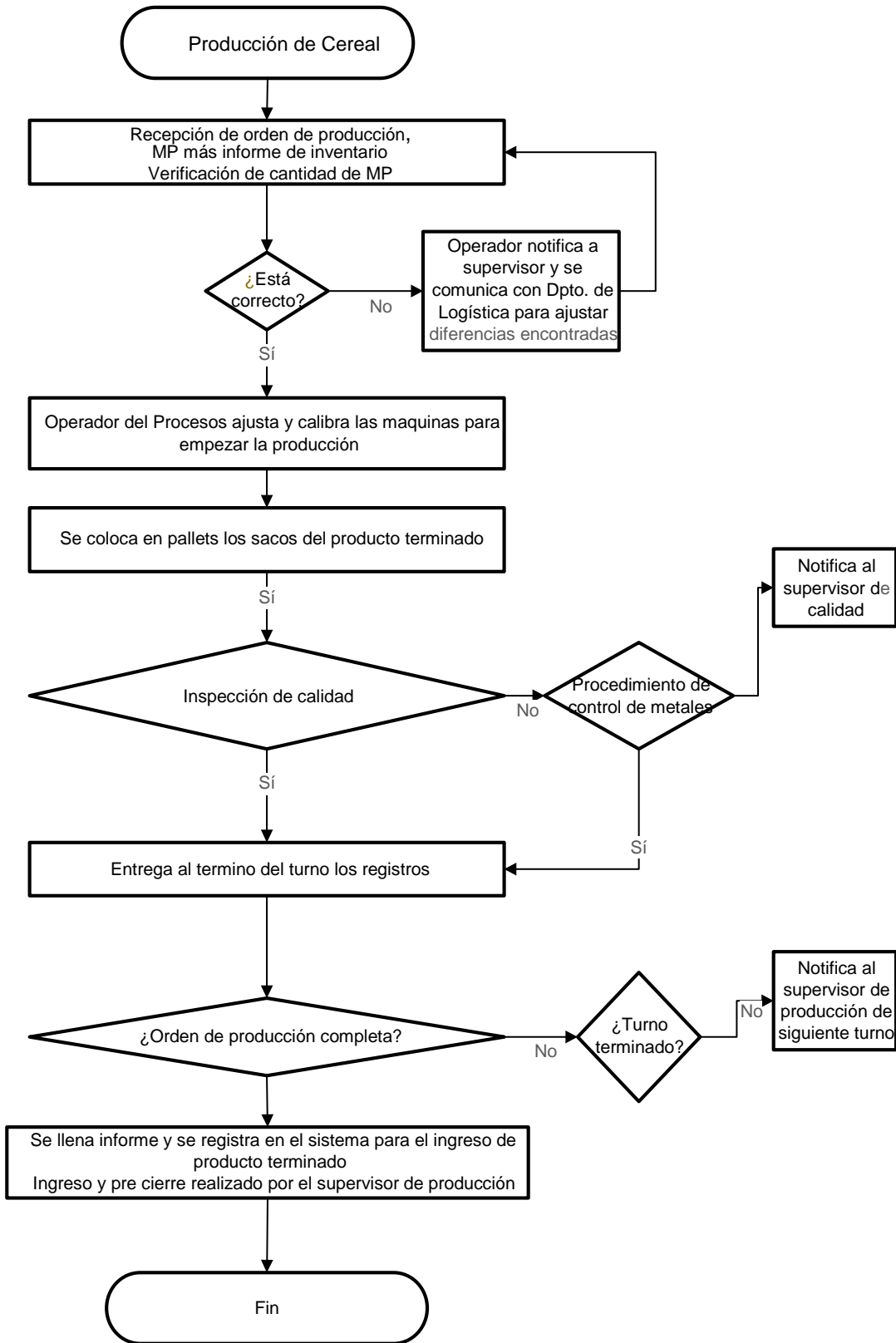
Fuente: Creado por los autores.

### **3.4 DIRECCIÓN DE PROCESO**

Para tener claro los diferentes procesos, se analizará los departamentos que rodean a la producción siendo un proceso en línea con un conjunto de máquinas en secuencia, el cual necesita la colaboración y aceptación de diferentes departamentos para la producción de bolitas de cereal.

- Adquisición de materia prima desde bodega
- Control de calidad
- Proceso de producción
- Almacenamiento de producto terminado
- Inspecciones

Ilustración 11 Procesos



Fuente: Elaborado por los autores

- Ingeniería

Gestiona el control del proceso, todos los cambios y modificaciones de las operaciones y deben ser autorizadas por el jefe de producción y un supervisor de producción.

Realiza control de presencias extrañas que pueda mantener la materia prima, se lo registra en monitoreo y en caso de no cumplir los estándares se realiza procedimientos de metales

- Fabricación

Se recibe la materia prima con el reporte de inventario realizado por bodega, los operadores de producción realizan los respectivos controles, comunican al supervisor las diferencias o restantes encontradas y se ingresa reporte en el sistema.

Realiza la respectiva rotulación al producto terminado como: nombre del producto, fecha, nombre de operador, y supervisor a cargo

- Mantenimiento

Gestiona los requerimientos mediante la respectiva planificación de producción para los mantenimientos de las máquinas.

- Calidad

Recibe notificación de producción de cierto lote terminado, verifica el producto mediante pequeñas muestras llevando a un control de impurezas y metales y se registra en sistema, en caso de que un muestreo salga no satisfactorio y no cumplir con los parámetros se realiza procedimientos de material y producto no conforme donde el supervisor de calidad indicara acciones a tomar.

Descripción de los departamentos que intervienen en el proceso de producción.



*Fuente Ilustración 12 Producción*

Fuente: Creado por los autores.

# **CAPÍTULO 4**

## **4 ANÁLISIS DE DATOS**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se va a proceder a la recolección de información, tratamientos de datos e implementación del modelo matemático para luego analizar los resultados encontrados y sugerir las soluciones encontradas.

#### 4.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

En esta sección podremos indicar como se llevará a cabo el modelo que ayudará a demostrar nuestras hipótesis.

Desglose de la composición de la línea de elaboración de cereal para determinar los tiempos de procesos de cada producto, así como también los tiempos de preparación de la máquina como limpieza y calibración.

Elaboración de una heurística que determine el secuenciamiento de elaboración de los productos y el tiempo total de producción.

#### 4.1.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

El proceso de producción de cereal iniciará con la combinación de los ingredientes en la línea, pasando por todos los procesos, hasta llegar al envasado del mismo en sus diferentes presentaciones.

**Mezcladora:** ingresa la materia prima a la mezcladora la cual prepara una masa para el siguiente proceso.

**Extrusor:** viene la materia prima de la mezcladora e ingresa en un sistema continuo al extrusor para comprimirla haciéndola perder 12% de masa dejándola más consistente para el siguiente proceso.

**Cortadora:** pasa la materia prima por la cortadora dándole forma de canelones la cual va cortando en medidas para luego ser transportadas por una banda al siguiente proceso.

**Bombo pelé:** esta máquina de proceso continuo recibe la materia prima y mantiene la temperatura en los parámetros establecidos por fórmula y pasa por una laminadora al siguiente proceso.

**Horno:** ingresa la materia prima y es expuesta a una temperatura por un corto tiempo hasta que reduzca 3% de su peso haciéndole perder agua.

**Bombo confitador:** en esta máquina se agregan ingredientes según el sabor que se esté produciendo haciéndole aumentar su masa y peso desde un 12% a un 14%.

**Horno secador:** en esta máquina la masa pierde 20% dejándola lista para la inspección de calidad y su respectivo pesado y envasado.



### 4.1.3 DIAGRAMA DEL SISTEMA

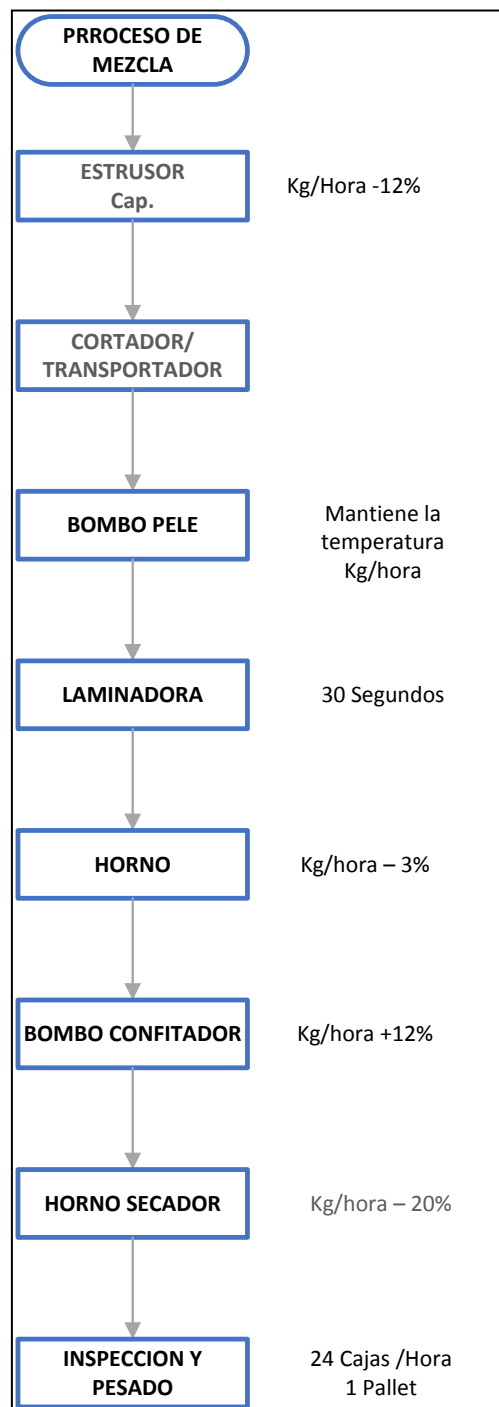


Ilustración 13 *Definición del sistema*

## 4.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Área de Planta o almacén: este proceso se enfoca en el alistamiento de la materia prima antes de llevarla a la producción, para la elaboración del siguiente pedido que esté en orden de pedido. La orden llega a bodega la cual se encarga de extraer las cantidades de materia prima pedidas para el comienzo de la producción.

### Tiempos de preparación de máquina.

En este punto se analizará las demoras para preparar la máquina al siguiente producto.

**Limpieza:** se debe lavar las máquinas después de cada lote o sabor producido ya que el siguiente producto se elaborará con sabor diferente.

**Calibración:** en todos los productos y para todos los procesos el ingreso de los parámetros en las máquinas es igual.

El siguiente cuadro muestra el total de los tiempos de setup de cada producto en la línea siendo la suma de los tiempos de limpieza y de calibración.

PRODUCTO	LIMPIEZA	CALIBRACIÓN	TOTAL HORAS
1	0,45	0,08	0,53
2	0,55	0,08	0,63
3	0,75	0,08	0,83
4	0,83	0,08	0,92
5	1,00	0,08	1,08

Tabla 1 **Tiempos de SET UP por producto**

Fuente: Los autores

**Limpieza:** se la realiza al finalizar el proceso de ese producto para que el siguiente sabor no lleve residuos en la mezcla. Se la realiza en el orden siendo el producto 1 el de menor pigmento y fácil limpieza

con una línea de agua de baja presión, siendo ésta una manguera de jardín de 15 metros.

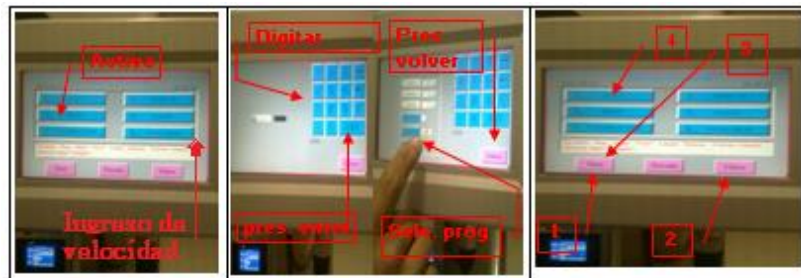
La siguiente imagen muestra el sistema de limpieza adoptado para realizar dichas actividades.



*Ilustración 14 Limpieza*

Fuente: Los autores

**Calibración:** la siguiente imagen muestra que la calibración se la realiza manual, el ingreso de los parámetros como tiempos, temperaturas, velocidades lleva un tiempo de ajuste para todos los productos que van a ser elaborados.



*Ilustración 15 Calibración*

Fuente: Los autores

Continuando con la calibración, el siguiente cuadro muestra los porcentajes de cada máquina para poder calcular la pérdida de masa y tener un número real de cajas total al fin de la línea. Con esto podemos saber cuánto de materia prima se necesita para un número de cajas destinada como demanda.

## PORCENTAJE DE VARIACION DE MEZCLAS

PORCENTAJES	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2	PRODUCTO 3	PRODUCTO 4	PRODUCTO 5
EXTRUSOR	-12%	-12%	-12%	-12%	-12%
HORNO	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%
BOMBO CONFITADOR	12%	12,5%	13%	13,5%	14%
HORNO SECADOR	-20%	-20%	-20%	-20%	-20%

Tabla 2 **Porcentajes de calibración de cada máquina**

Fuente: Los autores

El bombo confitador es una parte de la línea donde se adiciona masa ya que las distintas fórmulas de los diferentes sabores hacen necesario aumentar ciertos ingredientes.

Las demás maquinas convierten la masa ya sea comprimiéndola o tostándola y así haciendo que el volumen y peso reduzca llevándola a un término adecuado según la receta.

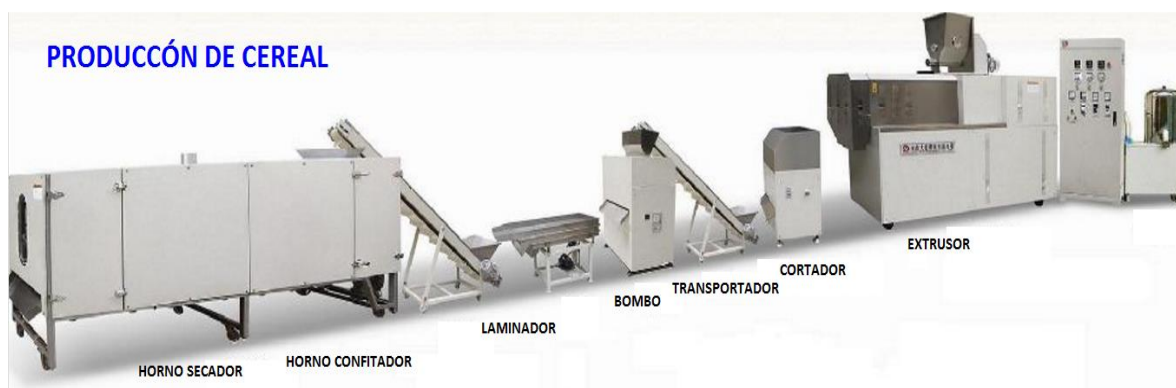
**Setup:** dado los tiempos de demora por alistamiento de máquina según sea el producto, se crea la siguiente matriz que será útil para la programación del estudio de secuenciamiento utilizando la Metaheurística de grass para un makespan.

SETUP / HRS	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2	PRODUCTO 3	PRODUCTO 4	PRODUCTO 5
PRODUCTO 1	0,0834	0,5334	0,5334	0,5334	0,5334
PRODUCTO 2	0,6334	0,0834	0,6334	0,6334	0,6334
PRODUCTO 3	0,8334	0,8334	0,0834	0,8334	0,8334
PRODUCTO 4	0,9167	0,9167	0,9167	0,0834	0,9167
PRODUCTO 5	1,0834	1,0834	1,0834	1,0834	0,0834

Tabla 3 **Matriz de programación por producto.**

Fuente: Los autores

## 4.2.1 CÁLCULO DEL SISTEMA



*Ilustración 16 Producción del Cereal*

Fuente: Los autores

### Datos:

**Pallet:** Está formada por 24 cajas de 14 kilogramos.

**Caja:** Está formada por 14 kilogramos de producto terminado siendo un peso neto sin el peso del embalaje y envoltura.

El armado lo realiza un operador al final de la línea del proceso cuando el producto está listo para ser envasado en las cajas de 14 kilogramos. Utiliza una balanza digital para cumplir los estándares de calidad. Luego la funda pasa por una selladora y se cierra la caja apilándose en el pallet.

El tiempo estimado para el proceso de armado y pesado del pallet es de una hora por cada uno.

Armado / Pesado	
1 Caja/Kg	14
1 Pallet	24
Pallet/Hora	1

Tabla 4 **Armado y Pesaje de un pallet**

Fuente: Los autores

La siguiente tabla muestra las demandas que se van a elaborar, con esto se espera obtener la cantidad de M.P. en kilogramos y la cantidad de ingredientes adicionales en kilogramos

PRODUCTOS	DEMANDA/ CAJAS
Producto 1	100,00
Producto 2	48,00
Producto 3	96,00
Producto 4	84,00
Producto 5	100,00

Tabla 5 **Demanda de Materia Prima**

Fuente: Los autores

Se detalla la variación de la mezcla cuando pasa por las máquinas que hacen reducir un porcentaje la masa (color verde), y cuando llega al bombo confitador se agrega ingredientes haciendo aumentar el porcentaje de la masa (color rosado).

El proceso como se lo indica en la parte de definición del sistema, la materia prima viene del área de mezcla teniendo que pasar por las siguientes máquinas que harán reducir su masa.

**Producto 1** con una demanda de 100 cajas se realizan los cálculos para determinar los kilogramos de M.P. y de ingredientes que se requiere usar para la elaboración del lote del producto 1

**Extrusor:** llega la M.P. y la comprime haciendo reducir su peso en 12%.

$$\text{M.P.} - (\text{M.P.} \cdot 0,12) = 1610,82$$

$$1830,48 - (1830,48 \cdot 0,12) = 1610,82$$

Sale **1610,82** kilogramos de masa del extrusor y se dirige al cortador, luego al bombo pelé y laminadora, estos no hacen ningún cambio en peso, solo le dan forma y hacen que mantengan una temperatura adecuada según receta.

**Horno:** llega la M.P. de la laminadora al horno, donde a cierta temperatura se pierde humedad a un 3% reduciendo su peso; detallamos su cálculo.

$$\text{M.P.} - (\text{M.P.} \cdot 0,03) = 1562,5$$

$$1610,82 - (1610,82 \cdot 0,03) = 1562,5$$

Salen **1562,5** kilogramos de masa del horno y se dirige al bombo confitador.

**Bombo confitador:** llega la M.P. del horno, y en este proceso se agregan ingredientes según el sabor sumando 12% de su masa.

$$\text{M.P.} + (\text{M.P.} \cdot 0,12) = 1750$$

$$1562,5 + (1562,5 \cdot 0,12) = 1750$$

Sale **1750** kilogramos del bombo confitador y se dirige al horno secador.

**Horno secador:** llega la M.P. y para que alcance la humedad requerida según receta la pasan por una temperatura haciendo que pierda 20% del peso de la masa quedando lista para ser llevada a pesado y envasado.

$$\text{M.P.} - (\text{M.P.} \cdot 0,20) = 1400$$

$$1750 - (1750 \cdot 0,20) = 1400$$

En el primer lote sale **1400** kilogramos directo para envasado y pesado dando un total de 100 cajas y 4,17 pallets. El tiempo de armado y envasado es 4h10.

Así se muestra la simulación de los 5 productos teniendo como resultado las siguientes tablas.

**Producto 1** en la tabla se muestra los kilogramos que entran, salen y cuanto de mezcla se debe adicionar en la sección del bombo confitador, los datos son referentes con el porcentaje del producto 1.

PRODUCTO 1	ENTRA Kg	SALE Kg	ADICIONAL
MEZCLA	1830,48	1830,48	0
ESTRUSOR (-12%)	1830,48	1610,83	0
CORTADOR TRANSPORTADOR	1610,83	1610,83	0
BOMBO PELÉ	1610,83	1610,83	0
LAMINADORA	1610,83	1610,83	0
HORNO (-3%)	1610,83	1562,50	0
BOMBO (+12%) CONFITADOR	1562,50	1750,00	187,5
HORNO (-20%) SECADOR	1750,00	1400,00	0
INSPECCION	1400,00	1400,00	0

Tabla 6 **Distribución de la masa sección Bombo Confitador**

Fuente: Los autores

Y así se tiene un total de 100 cajas, con 1830,48 kilogramos de M.P. y 187,5 kilogramos de ingredientes adicionales. Se obtienen 4,17 pallets donde se detalla 0,17 pallets de 4 cajas y 4 pallets de 24 cajas, en un tiempo de 4h10.

ENVASADO PALLET	
Cajas	100,00
# Pallets	4,17
Total Horas	4h10

Tabla 7 **Envasado Pallet**

Fuente: Los autores



**Producto 2** con una demanda de 48 cajas se realizan los cálculos para determinar los kilogramos de M.P. y de ingredientes que se requiere usar para la elaboración del lote del producto 2.

<b>PRODUCTO 2</b>	<b>ENTRA Kg</b>	<b>SALE Kg</b>	<b>ADICIONES</b>
MEZCLA	874,73	874,73	0
ESTRUSOR (-12%)	874,73	769,76	0
CORTADOR TRANSPORTADOR	769,76	769,76	0
BOMBO PELÉ	769,76	769,76	0
LAMINADORA	769,76	769,76	0
HORNO (-3%)	769,76	746,67	0
BOMBO (+12,5%) CONFITADOR	746,67	840,00	93,33
HORNO (-20%) SECADOR	840,00	672,00	0
INSPECCION	672,00	672,00	0

Tabla 8 **Ingredientes elaboración producto 2**

Fuente: Los autores

Y así se tiene un total de 48 cajas, con 874,73 kilogramos de M.P. y 93,33 kilogramos de ingredientes adicionales. Se obtienen 2 pallets en un tiempo de 2 horas.

<b>ENVASADO PALLET</b>	
Cajas	48,00
# Pallets	2,00
Total Horas	2h00

Tabla 9 **Envasado Pallet**

Fuente: Los autores

**Producto 3** con una demanda de 96 cajas se realizan los cálculos para determinar los kilogramos de M.P. y de ingredientes que se requiere usar para la elaboración del lote del producto 3

<b>PRODUCTO 3</b>	<b>ENTRA Kg</b>	<b>SALE Kg</b>	<b>ADICIONES</b>
MEZCLA	1741,72	1741,72	0
ESTRUSOR (-12%)	1741,72	1532,64	0
CORTADOR TRANSPORTADOR	1532,6	1532,6	0
BOMBO PELÉ	1532,6	1532,6	0
LAMINADORA	1532,6	1532,6	0
HORNO (-3%)	1532,6	1486,7	0
BOMBO (+13%) CONFITADOR	1486,73	1680,00	193,3
HORNO (-20%) SECADOR	1680,00	1344,00	0
INSPECCION	1344,00	1344,00	0

**Tabla 10 Ingredientes elaboración producto 3**

Fuente: Los autores

Y así se tiene un total de 96 cajas, con 1741,72 kilogramos de M.P. y 193,3 kilogramos de ingredientes adicionales. Se obtienen 4 pallets en un tiempo de 4 horas.

<b>ENVASADO PALLET</b>	
Cajas	96,00
# Pallets	4,00
Total Horas	4h00

**Tabla 11 Envasado pallet**

Fuente: Los autores

**Producto 4** con una demanda de 84 cajas se realizan los cálculos para determinar los kilogramos de M.P. y de ingredientes que se requiere usar para la elaboración del lote del producto 4.

PRODUCTO 4	ENTRA Kg	SALE Kg	ADICIONAL
MEZCLA	1517,29	1517,29	0
ESTRUSOR (-12%)	1517,29	1335,15	0
CORTADOR TRANSPORTADOR	1335,2	1335,2	0
BOMBO PELÉ	1335,2	1335,2	0
LAMINADORA	1335,2	1335,2	0
HORNO (-3%)	1335,2	1295,2	0
BOMBO (+13,5%) CONFITADOR	1295,16	1470,00	174,8
HORNO (-20%) SECADOR	1470,00	1176,00	0
INSPECCION	1176,00	1176,00	0

Tabla 12 **Ingredientes elaboración producto 4**

Fuente: Los autores

Y así se tiene un total de 84 cajas, con 1517,29 kilogramos de M.P. y 174,8 kilogramos de ingredientes adicionales. Se obtienen 3,5 pallets donde se detalla 0,5 pallets de 12 cajas y 3 pallets de 24 cajas, en un tiempo de 3h30.

ENVASADO PALLET	
Cajas	84,00
# Pallets	3,50
Total Horas	3h30

Tabla 13 **Envasado Pallet**

Fuente: Los autores

**Producto 5** con una demanda de 100 cajas se realizan los cálculos para determinar los kilogramos de M.P. y de ingredientes que se requiere usar para la elaboración del lote del producto 5.

<b>PRODUCTO 5</b>	<b>ENTRA Kg</b>	<b>SALE Kg</b>	<b>ADICIONAL</b>
MEZCLA	1798,37	1798,37	0
ESTRUSOR (-12%)	1798,37	1582,49	0
CORTADOR TRANSPORTADOR	1582,49	1582,49	0
BOMBO PELÉ	1582,49	1582,49	0
LAMINADORA	1582,49	1582,49	0
HORNO (-3%)	1582,49	1535,09	0
BOMBO (+14%) CONFITADOR	1535,09	1750,00	214,9
HORNO (-20%) SECADOR	1750,00	1400,00	0
INSPECCION	1400,00	1400,00	0

**Tabla 14 Ingredientes elaboración producto 5**

Fuente: Los autores

Y así se tiene un total de 100 cajas, con 1798,37 kilogramos de M.P. y 214,9 kilogramos de ingredientes adicionales. Se obtienen 4,17 pallets donde se detalla 0,17 pallets en 4 cajas y 4 pallets de 24 cajas, en un tiempo de 4h10.

<b>ENVASADO PALLET</b>	
Cajas	100,00
# Pallets	4,17
Total Horas	4,17

**Tabla 15 Envasado Pallet**

Fuente: Los autores

#### 4.2.2 MODELO MATEMÁTICO

Se procede a proponer el modelo matemático que facilite la programación a utilizar en este problema. En nuestro caso se usará el Software Wólffram Mathematica.

##### *Función Objetivo*

Minimización de los tiempos máximos de producción de cereal:

$$\text{Min}(C_{max}) \quad (1)$$

##### *Restricciones:*

La variable  $X_{ikj}$  asigna que cada proceso que es determinado una sola vez en la máquina k en cada etapa j:

$$\sum_{k=1}^n X_{ikj} = \leq 1, \quad X_{ikj} = (0,1) \quad (2)$$

La máquina k de la etapa j solo puede elaborar un tipo de producto i

$$\sum_{i=1}^n X_{ikj} = \leq 1, \quad X_{ikj} = (0,1) \quad (3)$$

Cada producto i tendrá un tiempo de procesamiento y de Setup

$$TF_{ijk} = TI_{ikj} + (TP_{ikj} * E_k) \quad (4)$$

No puede iniciar antes de concluir el trabajo anterior

$$TI_{ikj} \geq TF_{ikj_0} + TA_{ikj}, \quad j_0, j \in RP_i \quad (5)$$

Asegura la secuencia de los productos  $i_0$ ,

$$TF_{i_0kj} \leq TI_{ikj} + TA_{ikj} \quad (6)$$

Tiempos de demora por mantenimientos

$$E_k = U_k - M_k \quad (7)$$

Tiempo de finalización de la producción de algún producto en la última etapa de elaboración

$$M_{ijkl} \geq TF_{ikj} \quad (8)$$

Tiempo libre y secuenciación realizada

$$\sum_{i=1}^n TP_{ikj} \leq CP_k \quad (9)$$

$$X_{ikj}, U_k, M_k, E_k \in (0,1) \quad (10)$$

$$TF_{ikj}, TI_{ikj}, TA_{ikj}, TP_{ikj}, C_{max} \geq 0 \quad (11)$$

A continuación, se muestra la programación de la heurística utilizando la heurística de secuenciamiento Makespan.

### 4.2.3 REPRESENTACIÓN DE LA HEURÍSTICA PARA EL PROBLEMA DE FLOW SHOP SCHEDULING

La interrogante de Flow Shop scheduling se trata de secuenciar “n” trabajos con los tiempos de procesamiento dados en “m” máquinas. La secuencia de elaboración de un trabajo en todas las máquinas es igual y unidireccional en este caso una línea de proceso continua hasta que acabe la producción.

### 4.2.4 FUNCIÓN OBJETIVO

El objetivo de este problema es minimizar los tiempos de procesamientos (Makespan). Minimiza  $\{C_{max}\}$  donde  $t_{ij}$  es el tiempo de elaboración del trabajo  $i$  en la máquina  $j$ .

$n$ : el número total de trabajos a ser secuenciados por pedidos.

$m$ : el total de máquinas en el sistema en este caso para una máquina.

$C_{ij}$ : El tiempo de complementación del trabajo  $i$  de la máquina  $j$ .

$C_{max}$ :  $C_{[n,m]} = \text{Makespan}$ .

$\Sigma$ : Es el conjunto ordenado de trabajos ya secuenciados o secuencia parcial.

### 4.2.5 SUPUESTOS

- Un conjunto de “n” trabajos con diversas operaciones que está libre para procesarse en el tiempo.
- Cada trabajo  $i$  solicita “m” operaciones y cada operación requiere diferentes máquinas.
- Tiempo de Setup para los trabajos son autónomos de la secuencia de trabajos y puede ser dado en el tiempo de procesamiento.
- Descripción de los trabajos son conocidos previamente.
- Una vez que la elaboración inicia en un trabajo, se procede a terminarlo sin interrupción (sin derechos preferentes).

## 4.3 REPRESENTACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA

### 4.3.1 DESCRIPCIÓN del GRASP

El algoritmo Greddy determina problemas haciendo la selección que parece la mejor en ese instante. Un algoritmo Greddy exhibe dos propiedades denominadas. Propiedad de elección GLOTON y estructura suboptimal. Sea:

- $Z$ : Función objetivo
- $\alpha$ : Parámetro Glotón
- RCL: Lista de candidatos reducida.
- $r(\sigma)$ : Rango de datos.
- $Sesgo[r(\sigma)]$ : Función de sesgo.
- $\pi(\sigma)$ : Probabilidad de elegir un trabajo.
- Primero se inicia el tiempo de terminación de un trabajo en una máquina  $k$  igual a cero. Esto muestra el tiempo de disponibilidad de un trabajo en el Flow Shop.

La función objetivo a considerar es la minimización del Makespan.

Un parámetro Glotón " $\alpha$ " es dado experimentalmente y su valor varía de 0 a 1. De todos los candidatos, los mejores son puestos en la lista de candidatos restringida de acuerdo al rango y ancho.

- $RANGO = \{\text{máximo tiempo de completar de un trabajo} - \text{mínimo tiempo de completar de un trabajo}\}$
- $ANCHO = Rango \times \alpha$
- $RCL = \{\text{mínimo}, \text{mínimo} + \text{ancho}\}$



### 4.3.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL GRASP.

En esta parte una solución factible es elaborada iterativamente un elemento a la vez. En cada iteración de elaboración, la elección del próximo dato a ser añadido es determinada ordenando todos los elementos en una lista de candidatos con respecto a la función Greddy.

Un parámetro Greddy es  $\alpha$  determinado experimentalmente y su rango es en  $[0,1]$ . La heurística es ajustada por cuanto los beneficios asociados con cada elemento son actualizados en cada corrida para reflejar los cambios provocados por la selección del elemento previo.

El componente probabilístico de GRASP es caracterizado por escoger a la elección el mejor candidato. La lista de los mejores candidatos se denomina lista de candidatos restringida (RCL).

El pseudocódigo describe la fase básica de construcción del algoritmo GRASP.

### 4.3.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN $[g(\cdot), \alpha, x]$

- $X=0$
- Inicializar la lista de candidatos  $C$ .
- Mientras  $\neq 0$  hacer.
- $S_{min} = \min \left\{ \frac{g(T)}{T} \in C \right\};$
- $S_{max} = \max \left\{ \frac{g(T)}{T} \in C \right\};$
- $RCL = \{S \in C / g(s) \leq [[S_{max} - S_{min}]]\}$
- Seleccionar aleatoriamente  $s \in RCL$ ;
- $X = X \cup \{s\}$
- Actualizar la lista de candidatos  $C$ ;
- End Mientras
- End Elaboración

El pseudocódigo señala que  $\alpha$  controla la cantidad glotona y aleatoriedad en el algoritmo.

#### 4.3.4 ESTRUCTURA DEL ALGORITMO GRASP

- Estimamos un conjunto vacío para inicialización  $\Sigma$ .
- Indagamos las operaciones de  $\Sigma$ .
- Calcule la función objetivo (Makespan) de las operaciones.
- Averiguar el valor mínimo y máximo de la función objetivo.
- Averiguar el valor, es decir, (MAX-MIN)
- Escoge el parámetro  $\alpha$  (valor glotón) (0.1, 0.3, 0.4)
- Calcular el ancho (Rango x  $\alpha$ )
- Escoge candidatos para formar RCL, si  $Z(\Sigma\sigma) \leq [\min(Z(\Sigma\sigma)) + \text{ANCHO}]$
- Determina rango " $r$ " para cada operación en RCL.
- Calcular RANGO para función de sesgo aleatorio.
- Muestrear y actualizar el resultado.

#### 4.4 FASE DOS

##### 4.4.1 FASE DE BÚSQUEDA LOCAL

Las soluciones definidas en la fase de elaboración GRASP no garantizan

ser el óptimo global con respecto a una definición sencilla de vecindad.

Así siempre es rentable para aplicar búsqueda local para mejorar cada

elaboración.

Un algoritmo o Heurística de búsqueda local trabaja en una función iterativa por suplantarse sucesivamente la solución actual por una mejor solución en la vecindad de la solución actual.

El pseudocódigo que se muestra describe un procedimiento de búsqueda local básico:

#### 4.4.2 PROCEDIMIENTO LOCAL ES $[f(\cdot), h(\cdot), x]$

- $H = \{y \text{ pertenece a } n(x)/f(y) < f(x)\}$
- Mientras  $H > 0$  hacer
- Elige  $n \in H$ ;
- $H = \{y / f(y) < f(x)\}$
- FIN MIENTRAS
- FIN LOCAL.

#### 4.4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Así teniendo las demandas conocidas de los diferentes productos, se obtiene la materia requerida para los diferentes sabores, los kilogramos de M.P y los kilogramos de ingredientes adicionales para la mezcla.

#### 4.4.4 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO

Tabla de total horas de procesamientos con diferentes demandas en Kg. de cereal

PRODUCTOS KG/HORAS	DEMANDA/ CAJAS	DEMANDA / KG	ADICIONAL KG	TOTAL HORAS
Producto 1	100,00	1830,48	187,5	4,17
Producto 2	48,00	874,73	93,3	2,0
Producto 3	96,00	1741,72	193,3	4,0
Producto 4	84,00	1517,29	174,8	3,50
Producto 5	100,00	1798,37	214,9	4,17
				17,83

Tabla 16 Tiempos de Procesamiento

Fuente: Los autores

#### 4.4.5 SETUP

Tiempos de preparación de la máquina por sabores.

SETUP	
PRODUCTO	TOTAL/HORAS
PRODUCTO 1	0,53
PRODUCTO 2	0,63
PRODUCTO 3	0,83
PRODUCTO 4	0,92
PRODUCTO 5	1,08
	4,00

Tabla 17 **Setup F**

Fuente: Los autores

#### 4.4.6 MAKESPAN SOLUCIÓN

Para encontrar solución se programó la Metaheurística Grasp para hallar el secuenciamiento de actividades, teniendo como parámetro principal los tiempos de procesamiento de los distintos productos con un total de horas y los tiempos de alistamiento de máquina (Setup).

Como solución tenemos:

Tiempo anterior sin estudio **21.8395**

Tiempo total por Grasp: **20.8403**

Secuencia es: {2, 4, 3, 1, 5}

$$\text{Porcentaje de mejora} = \frac{21.8395 - 20.8403}{21.8395} * 100 = 4.57\%$$

# **CAPITULO 5**

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1 CONCLUSIÓN**

- Se pudo cuantificar la cantidad de materia prima e ingredientes a utilizar en la elaboración de los cereales.
- Logramos obtener un secuenciamiento de producción para la elaboración de cereal mediante la aplicación de la programación Grasp.
- Mediante el secuenciamiento se redujo los tiempos de producción a 20h54 de 21h54, podemos observar que se redujo una hora el tiempo total de producción para en el pedido considerado para el análisis.
- Conseguimos reducir 4.57% de tiempo de producción de la demanda por el pedido analizado.
- Se logró simular en Excel una plantilla con el objetivo de conocer los kilogramos de mezcla e ingredientes que se requieren por demanda requerida en numero de cajas.
- Se plantea una tabla de tiempos de preparación de máquina la que está compuesta por limpieza y calibración.
- Se evita la pérdida de tiempo por faltantes o sobre producción al no conocer con exactitud la cantidad de mezcla a utilizar.

## **5.2 RECOMENDACIÓN**

- Actualmente en la limpieza se usa una manguera de 15 metros de baja presión, se puede mejorar los tiempos de limpieza mediante el uso de hidrolavadora.
- El algoritmo deja facilidad de ampliar el número de productos, tomando en cuenta que se deberá investigar los tiempos de Setup y procesamiento para la generación y corrida de la Heurística.
- Capacitación al personal sobre la utilización del programa e ingreso de las variaciones en las cantidades para futuros pedidos.

## BIBIOGRAFÍA

- Banda Ruiz , A. (Junio de 2014). *Diseño y elaboración de hojas de instrucción de trabajo y procedimientos del proceso de fabricación de barras de ceral*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <http://www.uteq.edu.mx/tesis/IPOI/0480.pdf>
- Meza Flores, R., & Osante Miranda, J. C. (Febrero de 2013). *Diseño y simulación de equipos de proceso para la fabricación de cerveza artesanal en Mexico*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <http://tesis.ipn.mx:8080/bitstream/handle/123456789/12835/im234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pinto Fajardo, C. H., & Durán Sánchez, H. (Julio de 2006). *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16483/00781358.pdf?sequence=1>
- Salamanca Fandiño, L. (26 de Febrero de 2014). *Análisis por simulación de la línea de producción de Arequipe Antaño en la empresa Alquería*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de [http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/9842/Leonardo%20Salamanca%20Fandi%C3%B1o%20\(TESIS\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/9842/Leonardo%20Salamanca%20Fandi%C3%B1o%20(TESIS).pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- SANDOYA, F. (2015). METAHEURÍSTICA GRASP MAKESPAN. *Metaheurísticas y Redes Neuronales*, 115.
- TÁCHIRA, U. N. (4 de 8 de 2012). *MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*. Obtenido de <http://manteingdus.blogspot.com/p/glosario-de-terminos-tecnicos-de-la.html>
- Wilson Fabricio, V. (16 de Octubre de 2013). *Simulación de la unidad de tratamiento de gas combustible con aminas de la refinería estatal Esmeraldas*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2172/1/T-UCE-0017-53.pdf>