

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS PARA
EL PROCESO CERVECERO EN LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE
BUCARAMANGA**

**HERNÁN DARÍO TORRES RINCÓN
PEDRO LUIS CORREA FIGUEROA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA
2008**

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS PARA
EL PROCESO CERVECERO EN LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE
BUCARAMANGA**

HERNÁN DARÍO TORRES RINCÓN

PEDRO LUIS CORREA FIGUEROA

**Proyecto de grado para optar por el título de
Ingenieros Industriales**

Director:

MSc. Edwin Alberto Garavito

Codirector:

Dr. Henry Lamos Díaz

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA
2008**

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos desarrollar satisfactoriamente nuestro proyecto de grado y ser la fuente de cada uno de nuestros éxitos.

A nuestros Padres, quienes con su apoyo nos dieron fuerzas para cumplir las metas propuestas.

Al Doctor Jaime Eugenio Gutiérrez Prieto, por confiar en nosotros y en nuestro proyecto brindándonos todo su apoyo.

Al personal de la Cervecería de Bucaramanga por brindarnos su ayuda para el desarrollo de este proyecto.

A nuestros demás familiares y amigos, quienes son partícipes de este logro obtenido.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN..... | 15 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. TÍTULO DEL PROYECTO Y RESPONSABLES..... | 3 |
| 1.2. MODALIDAD..... | 3 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.4.1. <i>Objetivo General</i> | 4 |
| 1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 4 |
| 1.5. ALCANCE..... | 5 |
| 2. GENERALIDADES DE LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE BUCARAMANGA..... | 8 |
| 2.1. VISIÓN DE BAVARIA SAB-MILLER..... | 9 |
| 2.2. MISIÓN DE BAVARIA SAB-MILLER..... | 10 |
| 3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y DEL MODELO DE SIMULACIÓN..... | 11 |
| 3.1. ELABORACIÓN DE CERVEZA..... | 12 |
| 3.1.1. <i>Elaboración de mosto</i> | 12 |
| a. Materias Primas..... | 12 |
| b. Sala de cocimientos (cocina)..... | 17 |
| 3.1.2. <i>Propagación y manejo de la levadura</i> | 23 |
| 3.1.3. <i>Uniproceto</i> | 25 |
| 3.1.4. <i>Filtración</i> | 28 |
| 3.2. ELABORACIÓN DE PONY MALTA..... | 30 |
| 3.2.1 <i>Elaboración de mosto de Pony Malta</i> | 31 |
| 3.2.2 <i>Maduración del mosto de Pony Malta</i> | 31 |
| 3.2.3 <i>Filtración de Pony Malta</i> | 31 |
| 3.3. ENVASE DE CERVEZA Y DE PONY MALTA..... | 32 |
| 4. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN..... | 33 |
| 4.1. NECESIDADES DE INFORMACIÓN..... | 33 |
| 4.2. FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 35 |
| 4.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN..... | 36 |
| 4.3.1. <i>Recolección de la información referente al flujo del proceso</i> | 36 |
| 4.3.2. <i>Información numérica</i> | 37 |
| 4.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS NUMÉRICO Y LÓGICO DE LA INFORMACIÓN..... | 40 |
| 4.5. ANÁLISIS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD..... | 45 |
| 4.6. MODELO CONCEPTUAL..... | 49 |
| 5. CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO..... | 51 |
| 5.1. CONVERSIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL A UN MODELO DE SIMULACIÓN..... | 51 |
| 5.1.1 <i>Software PROMODEL</i> | 51 |
| 5.1.2. <i>Elementos estructurales</i> | 52 |
| a. Locaciones..... | 52 |
| b. Entidades..... | 56 |
| c. Recursos..... | 60 |
| d. Recorridos..... | 61 |
| 5.1.3. <i>Elementos operacionales</i> | 61 |

| | |
|---|------------|
| a. Rutas..... | 61 |
| b. Operaciones | 61 |
| c. Llegadas | 62 |
| d. Tiempos de reparación o mantenimientos | 62 |
| e. Movimiento conjunto de entidades y de recursos | 63 |
| 5.1.4. Consideraciones | 64 |
| 5.1.5. Lógica de la construcción del modelo de simulación | 66 |
| 5.2. VERIFICACIÓN DEL MODELO | 73 |
| 6. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTABLE Y DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN .. | 75 |
| 6.1. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTABLE | 75 |
| 6.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN | 76 |
| 7. VALIDACIÓN DEL MODELO | 79 |
| 7.1. PRUEBA DE CONTINUIDAD | 79 |
| 7.2. PRUEBA DE CONSISTENCIA | 80 |
| 7.3. PRUEBA DE DEGENERACIÓN | 81 |
| 7.4. PRUEBA DE CONDICIONES ABSURDAS | 81 |
| 7.5. PRUEBA DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO | 82 |
| 7.6. PRUEBA DE ESTRUCTURA DE LOS DATOS | 82 |
| 8. RESULTADOS DEL MODELO | 88 |
| 8.1. DEPURACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO | 88 |
| 8.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO | 92 |
| 9. ANÁLISIS DE ESCENARIOS..... | 99 |
| 9.1. PRIMER ESCENARIO: INSTALACIÓN DE DOS UNITANQUES ADICIONALES | 99 |
| 9.1.1. <i>Análisis de los resultados del primer escenario</i> | 103 |
| 9.2. SEGUNDO ESCENARIO: UN FLUJO EN EL FILTRO 1.67 VECES MAYOR | 105 |
| 9.2.1. <i>Análisis de los resultados del segundo escenario</i> | 107 |
| 9.3. TERCER ESCENARIO: COCIMIENTOS DE 470 HL | 110 |
| 9.3.1. <i>Análisis de los resultados del tercer escenario</i> | 112 |
| 10. COMPARACIÓN DE RESULTADOS | 116 |
| 11. MODELO PROPUESTO | 119 |
| 12. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO A BAVARIA..... | 122 |
| 13. CONCLUSIONES | 123 |
| 14. RECOMENDACIONES..... | 125 |
| GLOSARIO | 127 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 129 |
| ANEXOS..... | 130 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Tiempo total de proceso en la olla de crudos | 40 |
| Tabla 2. Capacidades de las máquinas en las dos líneas de envase | 42 |
| Tabla 3. Cantidades entrantes y salientes para el cocimiento 434 en las ollas de crudos y de mezclas | 43 |
| Tabla 4. Conversión de unidades en el área de Envase..... | 44 |
| Tabla 5. Variación de las medidas de desempeño seleccionadas para la prueba de continuidad | 80 |
| Tabla 6. Cantidad total enviada al Depósito desde la línea 1 en el sistema real... | 83 |
| Tabla 7. Cantidad total enviada al Depósito desde la línea 2 en el sistema real... | 83 |
| Tabla 8. Cantidad total enviada al Depósito desde las líneas 1 y 2 en el sistema real, en condiciones normales de producción | 84 |
| Tabla 9. Resultados de simulación para la variable Cantidad total enviada al Depósito desde las líneas 1 y 2 | 85 |
| Tabla 10. Análisis de Varianza para la cantidad total enviada al Depósito entre el sistema real y el modelo de simulación | 86 |
| Tabla 11. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del sistema actual..... | 91 |
| Tabla 12. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del sistema actual..... | 91 |
| Tabla 13. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del sistema actual..... | 92 |
| Tabla 14. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el sistema actual | 93 |
| Tabla 15. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del primer escenario..... | 100 |
| Tabla 16. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del primer escenario..... | 101 |
| Tabla 17. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del primer escenario | 101 |
| Tabla 18. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el primer escenario | 102 |
| Tabla 19. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del segundo escenario..... | 106 |
| Tabla 20. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del segundo escenario..... | 106 |
| Tabla 21. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del segundo escenario | 107 |
| Tabla 22. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el segundo escenario | 108 |

Tabla 23. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del tercer escenario..... 111

Tabla 24. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del tercer escenario..... 111

Tabla 25. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del tercer escenario..... 112

Tabla 26. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el tercer escenario 113

Tabla 27. Comparación de resultados para los cuatro modelos de simulación construidos 117

Tabla 28. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el sistema propuesto..... 120

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Relación cualitativa entre complejidad y utilidad del modelo | 5 |
| Figura 2. Definición del alcance del modelo | 6 |
| Figura 3. Dinámica de un sistema | 11 |
| Figura 4. Subsistema captación, tratamiento y almacenamiento de agua | 13 |
| Figura 5. Subsistema transporte, limpieza y pesaje de malta..... | 14 |
| Figura 6. Subsistema molienda de malta | 15 |
| Figura 7. Subsistema transporte, limpieza, pesaje y molienda de arroz..... | 16 |
| Figura 8. Subsistema manejo de aditivos..... | 17 |
| Figura 9. Subsistema olla de crudos | 18 |
| Figura 10. Subsistema olla de mezclas | 19 |
| Figura 11. Subsistema olla de filtración..... | 21 |
| Figura 12. Subsistemas tanque auxiliar y calentador de mosto | 21 |
| Figura 13. Subsistema olla de cocción | 22 |
| Figura 14. Subsistemas olla whirlpool, evaporador y enfriador | 23 |
| Figura 15. Subsistemas de aireación e inyección de levadura..... | 25 |
| Figura 16. Subsistema Uniproceso | 28 |
| Figura 17. Subsistema Filtración | 29 |
| Figura 18. Subsistema Carboblend y Contrapresión..... | 30 |
| Figura 19. Gráfico de Control: Tiempo total de proceso en la olla de crudos | 41 |
| Figura 20. Vista de inicio de software PROMODEL | 48 |
| Figura 21. Vista de un ejemplo usando la herramienta STAT-FIT | 48 |
| Figura 22. Representación gráfica del modelo conceptual | 50 |
| Figura 23. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Cocinas | 53 |
| Figura 24. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Uniproceso... 53 | 53 |
| Figura 25. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Filtración..... 54 | 54 |
| Figura 26. Locaciones en el modelo de simulación para la línea de envase 1..... 55 | 55 |
| Figura 27. Locaciones en el modelo de simulación para la línea de envase 2..... 56 | 56 |
| Figura 28. Representación en el modelo de simulación de la entidad AGUA..... 57 | 57 |
| Figura 29. Representaciones en el modelo de simulación de las entidades MOSTO y MOSTO_GRUPO | 57 |
| Figura 30. Representación en el modelo de simulación de la entidad CERVEZA 58 | 58 |
| Figura 31. Representación en el modelo de simulación de la entidad PONY..... 58 | 58 |
| Figura 32. Representación en el modelo de simulación de la entidad PALET | 59 |
| Figura 33. Representación en el modelo de simulación de la entidad CANASTA_LLENA..... | 59 |
| Figura 34. Representación en el modelo de simulación de la entidad CANASTA_VACIA..... | 59 |
| Figura 35. Representación en el modelo de simulación de la entidad BOTELLAS_HL..... | 60 |
| Figura 36. Vista general del modelo de simulación | 74 |

| | |
|---|-----|
| Figura 37. Momento en el que el sistema llega a su estado estable | 76 |
| Figura 38. Representación de los tiempos de simulación | 77 |
| Figura 39. Intervalo de confianza para el promedio de la variable Cantidad total de Cerveza enviada al Depósito..... | 87 |
| Figura 40. Vista de las opciones para la simulación del modelo..... | 88 |
| Figura 41. Vista general del modelo de simulación para el primer escenario..... | 100 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo A. Mapa General de ubicación de la Cervecería de Bucaramanga | 130 |
| Anexo B. Plano General de la Cervecería de Bucaramanga..... | 131 |
| Anexo C. Diagrama de la generación y el manejo de Vapor | 132 |
| Anexo D. Diagrama de Elaboración de mosto..... | 133 |
| Anexo E. Diagrama del manejo de amoniaco (NH_3) | 134 |
| Anexo F. Diagrama del manejo de gas carbónico (CO_2) | 135 |
| Anexo G. Diagrama de Uniproceso y Propagación de levadura | 136 |
| Anexo H. Diagrama de Filtración y Contrapresión..... | 137 |
| Anexo I. Diagrama de la línea de envase 1 | 138 |
| Anexo J. Diagrama de la línea de envase 2 | 139 |
| Anexo K. Archivo: Diagramación del sistema “Proceso Cervecerero”.MOD | 140 |
| Anexo L. Archivo: Información del área de Elaboración de mosto.xls | 141 |
| Anexo M. Archivo: Información del área de Uniproceso.xls | 142 |
| Anexo N. Archivo: Información del área de Filtración.xls | 143 |
| Anexo O. Archivo: Cuadros de Control.txt | 144 |
| Anexo P. Capacidades en Hectolitros para la línea de envase 1..... | 145 |
| Anexo Q. Capacidades en Hectolitros para la línea de envase 2 | 146 |
| Anexo R. Descripción de las variables más importantes en el modelo de simulación..... | 147 |
| Anexo S. Modelo de simulación “Proceso Cervecerero Sistema Actual”.MOD..... | 148 |
| Anexo T. Archivo: Validaciones.xls | 149 |
| Anexo U. Archivos: Resultados de los modelos de simulación.txt y Resultados de los modelos de simulación. xls..... | 150 |
| Anexo V. Archivo: Variables de comparación.xls..... | 151 |
| Anexo W. Diagrama del proceso cervecero..... | 152 |
| Anexo X. Archivo: Programación del modelo de simulación del Sistema Actual.txt | 153 |

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS PARA EL PROCESO CERVECERO EN LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE BUCARAMANGA*.

AUTORES:

Hernán Darío Torres Rincón

Pedro Luis Correa Figueroa**

PALABRAS CLAVES:

Promodel, Bavaria, Simulación, Proceso cervecero, Eventos discretos, Construcción del modelo, Validación.

DESCRIPCION:

El presente documento consiste en el diseño y programación de un modelo de simulación utilizando el software PROMODEL para el proceso de manufactura de la Cerveza y de Pony Malta en la Cervecería Bavaria SAB-Miller de Bucaramanga.

Se realizó un detallado análisis del sistema y se obtuvo toda la información numérica y lógica necesaria, la cual fue procesada por medio de cálculos matemáticos y estadísticos de tal manera que ésta fuera interpretada por el modelo mediante distribuciones de probabilidad.

Luego de haber recolectado y analizado toda la información referente al sistema a simular fue programado el modelo computacional, gran cantidad de variables de control y desempeño fueron incluidas dentro de la programación de tal manera que el simulador representara la lógica del sistema productivo. Al final se obtuvo un modelo de simulación que expresa de forma clara y didáctica la interacción de todos los elementos del sistema para la elaboración y envase de las dos referencias de producto.

Diferentes métodos lógicos y matemáticos de verificación y validación fueron realizados para confirmar la similitud entre el modelo computacional y la realidad.

Con base a este modelo se pudo realizar un análisis detallado con respecto a la eficiencia y la capacidad de la Cervecería en su proceso cervecero, detectando así algunas falencias que reducen el rendimiento de la planta.

Adicionalmente, este modelo fue utilizado como herramienta experimental para evaluar el impacto de tres posibles futuras implementaciones que afectarían directamente el proceso de manufactura y finalmente se realizó otro escenario con el cual se pretende demostrar cómo se aumenta la eficiencia de la Cervecería al realizar diferentes cambios en las áreas críticas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial. Director: Ing. Edwin Alberto Garavito.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF DISCRETE EVENTS SIMULATION MODEL FOR THE BREW PROCESS IN BAVARIA SAB-MILLER BREWERY OF BUCARAMANGA*.

AUTORS:

Hernán Darío Torres Rincón

Pedro Luis Correa Figueroa **

KEY WORDS:

Promodel, Bavaria, Simulation, Brew process, Discrete events, Model construction, Validation.

DESCRIPTION:

This document represents the design and programming of a simulation model using the software PROMODEL to the beer and malt manufacturing process in Bavaria SAB-Miller Brewery of Bucaramanga.

It was performed a detail system analysis and gathered all the logic and numeric information needed. This information was processed by different mathematic and statistical methods in a way that can be interpreted by the model using probability distributions.

After having analyzed all the data referring the system to simulate, a computational model was program. A large quantity of performance and control variables was included in the programming so that the simulator represents the logic of the production system. At the end the simulation model expresses in a clear and didactic way the interaction of all the system elements for the elaboration and packing of the two product references.

Different logical and mathematical methods of verification and validation were performed in order to confirm the similarity between the computational model and the reality.

Based on this model, a detailed analysis with respect the efficiency and capacity of the brewery in its brewing process was constructed, detecting some flaws that reduce the performance of the plant.

Additionally, this model was used as an experimental tool to assess the impact of three possible future implementations that directly affect the manufacturing process and finally made another scenario with which one seeks to show how it enhances the efficiency of the brewery by making different changes in the critical areas.

* Proyect of degree

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial. Director: Ing. Edwin Alberto Garavito

INTRODUCCIÓN

Disponer de un instrumento que permita adquirir una visión global del proceso productivo y que además contribuya al éxito en el proceso de toma de decisiones puede convertirse en una ventaja competitiva para cualquier empresa. Con este propósito, muchas compañías están acudiendo a la utilización de software de simulación específicos, que con base en datos históricos, se puedan diseñar modelos para analizar los elementos importantes de la dinámica de las operaciones.

La cervecería Bavaria Sab-Miller de Bucaramanga, al tener bajo estudio la implementación de proyectos de inversión a corto y mediano plazo con el objetivo de aumentar la capacidad en la producción encontró la necesidad de contar con una herramienta que proporcione información suficiente para generar confianza al realizar el proceso de toma de decisiones de este tipo.

El presente trabajo consiste en la construcción de un modelo de simulación para el proceso cervecero en la Cervecería Bavaria Sab-Miller de Bucaramanga, con el propósito de generar mecanismos que contribuyan a implementar decisiones con certeza sin incurrir en ensayos de prueba y error. Para la realización del modelo de simulación es fundamental que el programador del software conozca el sistema que se desee representar. En el capítulo tres se muestra de manera sistemática una descripción detallada del proceso cervecero, identificando las variables de entrada, las interacciones que ocurren dentro del sistema y las variables de salida que se generan.

Al tener una visión clara del sistema que se pretende simular, es necesario definir la información que se requiere para la construcción del modelo e identificar las fuentes que puedan proporcionar ese tipo de datos para su posterior análisis y tratamiento. En el capítulo cuatro se muestra el proceso que se llevó a cabo durante la recolección de la información, incluyendo una descripción del tipo de manejo que se le dio a los datos para su posterior utilización en la construcción del modelo.

El siguiente paso fue convertir el modelo base o conceptual (el cual es resultado de la identificación del sistema) en un modelo computacional o de simulación. En el capítulo cinco se muestran los distintos elementos que se tuvieron en cuenta para la construcción del modelo, utilizando el software de simulación PROMODEL. Adicionalmente se realiza el proceso de verificación del modelo, el cual consiste en la evaluación de lógica, buscando siempre la mayor similitud con los eventos que ocurran en el sistema real.

Luego de la construcción y verificación del modelo de simulación fue necesario realizar pruebas de validación las cuales generan un aumento en la confianza al usuario final del modelo. El capítulo seis y siete tienen como objetivo demostrar la validez de la simulación, por medio de pruebas estadísticas, la semejanza que existe entre los resultados generados por el modelo y la información existente del sistema real.

Al comprobar la validez del modelo, se tiene la certeza que los resultados generados por la simulación pueden ser utilizados para cumplir el objetivo del proyecto. En el capítulo ocho se presenta un análisis de los resultados, identificando las variables de mayor influencia dentro del normal desarrollo del proceso cervecero.

Una de las utilidades que tiene la creación de un modelo de simulación, es generar distintos escenarios con el fin de evaluar el impacto real que podría tenerse si se deciden implementar los cambios propuestos en cada uno de ellos. En los capítulos nueve y diez se describen tres escenarios distintos, los cuales fueron propuestos por los directivos de la empresa con el objetivo de aumentar la capacidad de la planta. Adicionalmente se realiza una evaluación de los resultados generados por la simulación para cada uno de los escenarios propuestos.

En el capítulo once y como un valor agregado se muestra un modelo propuesto por los autores del proyecto, el cual busca responder a una pregunta de tipo: que pasaría si...?. Con lo cual se busca representar un escenario que pretenda disminuir considerablemente los valores en las variables críticas en los escenarios propuestos por la empresa. Finalmente, en el capítulo trece se muestran las conclusiones que se tuvieron con la realización del presente trabajo.

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO Y RESPONSABLES

El presente proyecto se titula “**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS PARA EL PROCESO CERVECERO EN LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE BUCARAMANGA**” y tiene como responsables a los estudiantes de Ingeniería Industrial Hernán Darío Torres Rincón y Pedro Luis Correa Figueroa.

1.2. MODALIDAD

PRÁCTICA EMPRESARIAL

1.3. JUSTIFICACIÓN

La constante búsqueda de diferentes programas de optimización y análisis de procesos ha conducido finalmente al desarrollo e implementación de modelos de simulación, convirtiéndose en la herramienta más popular para analizar sistemas complejos de manufactura. En pocas palabras, la simulación importa de la realidad un ambiente del cual se pueden estudiar y controlar sus variables en diferentes condiciones evitando el riesgo físico y grandes costos al hacer estas tareas en el mundo real.¹

En este trabajo se propone el desarrollo de un modelo de simulación, en el que se puedan monitorear las operaciones reales llevadas a cabo por la Cervecería Bavaria – SAB Miller de Bucaramanga, para su proceso cervecero y de malta.

¹HARREL, Charles y GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce. Simulation Using PROMODEL. Estados Unidos de América: segunda edición. Mc Graw Hill 2004. Pág. 7

El proceso cervecero se considera como un sistema muy complejo de manufactura llevado a cabo en una planta que trabaja 24 horas al día siendo asistida por alrededor de 500 empleados distribuidos en tres turnos y en donde los mantenimientos, cambios, mediciones o correcciones en su maquinaria o equipos se desarrolla simultáneamente con la producción.

La simulación proporcionará al analista una visualización dinámica del proceso en el cual se muestra la interacción de los factores que inciden en la producción, la utilización de los recursos y la generación del resultado final. Es por eso que este proyecto permitirá apoyar las decisiones futuras de la dirección y de las diferentes gerencias en cuanto a cualquier modificación que se pretenda realizar en las áreas de producción, disminuyendo el nivel de riesgo y de pérdidas causadas por interrupciones en las operaciones sin mencionar todos los posibles daños consecuentes.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un modelo de simulación para el análisis de la eficiencia y capacidad de la Cervecería Bavaria SAB-Miller de Bucaramanga y que sirva como recurso experimental para evaluar el impacto de futuras decisiones en su proceso cervecero y de malta.

1.4.2. Objetivos Específicos

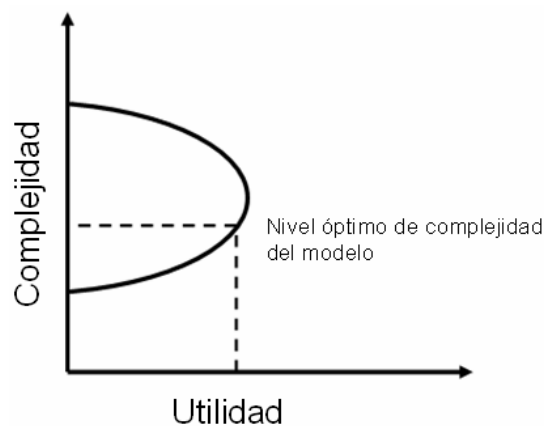
- Identificar variables, recursos, estaciones y entidades dentro del proceso cervecero que conforman el sistema.
- Recolectar la información necesaria que permita por medio de un manejo estadístico, el diseño del modelo.
- Realizar la diagramación de la estructura del proyecto.

- Diseñar un modelo de simulación que exprese claramente la interacción entre todos los factores y lleve a resultados coherentes.
- Validar mediante pruebas estadísticas la similitud entre el modelo y los resultados reales.
- Realizar un análisis concreto con respecto a la eficiencia y la capacidad de la Cervecería de Bucaramanga en el proceso de fabricación de la Cerveza y de Pony Malta, teniendo en cuenta los resultados arrojados por el modelo.

1.5. ALCANCE

El modelo de simulación es una representación simplificada sobre como los elementos de un sistema real se comportan e interactúan entre sí. Demostrar la manera exacta como se lleva a cabo las operaciones no es tan importante ya que muchos elementos pueden simplificarse. No solo es muy difícil construir modelos demasiado detallados, sino también es difícil interpretarlos, disminuyendo así la utilidad que pueda obtenerse de su construcción. Lou Keller de PROMODEL Corporation desarrolló una relación entre complejidad del modelo y utilidad del modelo, la cual se muestra en la figura 1.

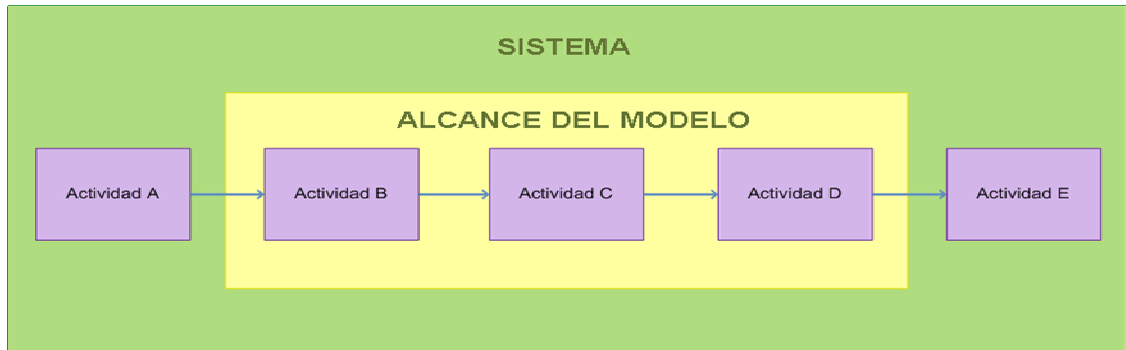
Figura 1. Relación cualitativa entre complejidad y utilidad del modelo



Fuente: Simulation Using PROMODEL

Dentro de un sistema pueden ser excluidas una o más actividades del sistema real, siempre y cuando el objetivo propuesto para la simulación se cumpla. La figura 2 muestra como son incluidas solo las actividades más relevantes dentro del alcance de un modelo.

Figura 2. Definición del alcance del modelo



Fuente: Los autores

El presente proyecto, consiste en la construcción de un modelo de simulación, que permite la visualización del proceso productivo para las siguientes tres referencias: Pony Malta, Águila y Costeñita, las cuales se elabora en la Cervecería de Bucaramanga. Dentro del modelo se consideran solo las actividades que afectan estrictamente la producción de Cerveza o Pony Malta, desarrollando en estos productos cambios que le agregan valor. Estas actividades son: Elaboración de mosto, Fermentación, Maduración, Filtración, Contrapresión y Envase. También se tienen en cuenta ciertas actividades que suceden en el área de Envase para las dos líneas: llegada de canastas de botellas vacías, proceso en la esencanastadora, proceso en la lavadora, revisión de calidad del lavado, envase y tapa, control de calidad de llenado, pasteurización, pegado de etiqueta y proceso en la encanastadora.

Se excluyen de la simulación las áreas de apoyo al proceso cervecero como: tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales, generación de vapor, manejo de CO₂, manejo de amoníaco, manejo de aire y demás sistemas de refrigeración y calentamiento de equipos. Lo anterior es consecuencia de que los subprocesos mencionados no representan una limitación al sistema. También se excluye el proceso para la manufactura

de Agua Brisa, ya que este es independiente al que se realiza para la transformación de la malta y demás materias primas para la obtención de Cerveza. El área de Depósito del producto terminado se omite igualmente del modelo debido a dos razones importantes: primero, no es prioridad de este proyecto ilustrar y analizar las actividades y la logística de distribución que se desarrollen con el producto luego que éste ha sido manufacturado, ni señalar actividades de apoyo que no generen valor y segundo porque ya ha sido desarrollado un modelo de simulación que considera la logística llevada a cabo en el área de Depósito².

Así mismo, se omite parte del proceso de propagación de la levadura, ya que sus cantidades y sus tiempos no son relevantes para los resultados totales del área encargada. Sin embargo, de dicho proceso explicado detalladamente en el capítulo 3, se tendrá en cuenta desde la ocupación del Unitanque 25 en adelante. Algunas consideraciones más específicas se encuentran descritas en el numeral 5.1.4.

Al realizar las validaciones y verificaciones respectivas al modelo, se espera obtener un porcentaje de error aceptable entre los resultados del modelo que no rechace la hipótesis nula referente a la igualdad de resultados entre el modelo y el sistema real. La verificación se llevará a cabo por medio de pequeñas variaciones en los elementos de entrada donde los resultados estén acorde con estas modificaciones y sean lo suficientemente parecidas a la realidad para concluir que el modelo corre como se pretende. El procedimiento de validación se realizará mediante comparaciones de los resultados correspondientes a tiempos de producción de cada área y cantidad envasada en hectolitros.

Finalmente, luego de la obtención y validación de los resultados arrojados por el modelo, se manipularán ciertas variables que afecten directamente la producción, para así determinar el impacto que estas ocasionan sobre las medidas de desempeño. Se pretende primordialmente variar capacidades en áreas críticas. Entre las medidas de desempeño más importantes se resaltan: tiempos de proceso en cada área, tiempos de espera, porcentaje de utilización de las estaciones y cantidad de producto final envasado y encanastado.

²RUEDA, Jorge Andrés. Diagnostico y mejoramiento de los procesos relacionados con la operación logística del área de Depósito de la empresa Bavaria S.A. Cervecería de Bucaramanga.

2. GENERALIDADES DE LA CERVECERÍA BAVARIA SAB-MILLER DE BUCARAMANGA

La Cervecería se encuentra localizada al norte de Bucaramanga en el kilómetro 4 de la vía Café Madrid y ocupa un área alrededor de 24 hectáreas (ver anexos A y B). En este lugar ha operado desde el año 1948.

En el año 2005 se llevó a cabo un proyecto de modernización y potenciación de la Cervecería con una inversión superior a los 20 millones de dólares, llevando su capacidad instalada de 0.8 a 1.6 millones de hectolitros de producción anual. Posteriormente en el año 2007, con la instalación de 7 Unitanques dispuestos para los procesos de fermentación y maduración, la capacidad teórica se amplió a una cifra cercana a los 2 millones de hectolitros anuales³. Se tiene previsto desarrollar nuevos proyectos de ampliación en los próximos años⁴.

El grupo empresarial Bavaria (GEB) en el 2005 unió sus fuerzas con SAB Miller, llevando el proceso cervecero desarrollado en las siete Cervecerías en Colombia a estándares mundiales y adquiriendo múltiples conocimientos respecto la manufactura de la Cerveza y el manejo del negocio en diferentes mercados.

Actualmente, la producción en la Cervecería de Bucaramanga se lleva a cabo durante los 7 días de la semana, por medio de 3 turnos diarios, con el apoyo de aproximadamente 310 empleados directos y 190 contratistas, para la generación de las bebidas: Águila, Costeñita, Agua Brisa y la tradicional Pony Malta.

³ BAVARIA. Capacidades Instaladas en la Cervecería Bucaramanga. [citado 29 de mayo 2008]. Disponible en internet Internet:<URL:http://www.grupobavaria.com/espanol/queesbavaria/plantas_cerv_bmanga.php>

⁴ PORTAFOLIO. Bavaria Aumenta Capacidad de Producción de Cervecerías de Bogotá, Tocancipá, Barranquilla y Bucaramanga. [Citado 29 de mayo 2008]. Disponible en Internet:<URL:http://www.portafolio.com.co/negocios/empresas/2008-05-29/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-4213305.html>

La planta cuenta con una capacidad instalada de 2.360.000 HI/año en la cocina, 2.400.000 HI/año en el envase (144.000 botellas/h), y 1.900.000 HI/año en el área de Unitanques, la cual opera casi al 100% de su capacidad.

La estructura organizacional está encabezada por el Director de la Planta, Jaime Eugenio Gutiérrez Prieto, seguido de 9 gerencias (mantenimiento, producción, calidad, envase, recursos humanos, financiera, abastecimiento, Depósito y ventas), donde se subdividen las tareas de las 9 áreas constituyentes (planta de tratamiento agua potable, planta de tratamiento agua residual, Cocinas, filtración, Uniproceso, envase, Agua Brisa, laboratorios, servicios de apoyo, Depósito y ventas).

La planta de la Cervecería de Bucaramanga es considerada como la más moderna y tecnificada de la región y gran generadora de empleo. Esta planta atiende a los consumidores de los departamentos de Santander, Norte de Santander, sur del departamento de Cesar (municipios de San Alberto, San Martín, Aguachica, Pelaya, Gamarra y Pailitas), sur del departamento de Bolívar (La Gloria, Simaña, Rioviejo, San Pablo, Santa Rosa y Simití), nororiente del departamento de Arauca (Arauca, Arauquita, Saravena, Fortul, y La Esmeralda), así como los municipios Cubará (Boyacá) y Yondó (Antioquia).

2.1. VISIÓN DE BAVARIA SAB-MILLER⁵

Ser la compañía más admirada en Colombia y un gran contribuyente a la reputación global de SAB-Miller.

- Por la efectividad de nuestro mercadeo.
- Por la calidad de nuestros productos.
- Como la mejor fuente de empleo.
- Como el mejor socio.
- Por nuestra responsabilidad social.

⁵ BAVARIA. Política Ética. Pág 4[citado 3 abril de 2008]. Disponible en internet:<URL:<http://www.bavaria.com.co/pdfs/esp/etica.pdf>>

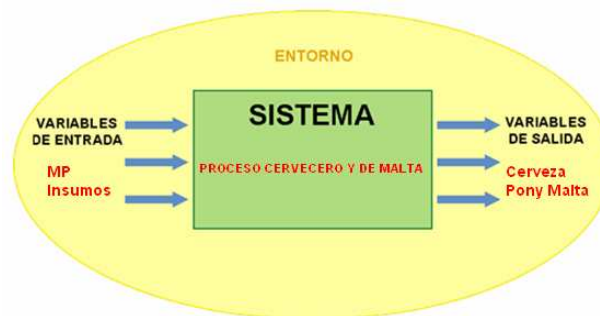
2.2. MISIÓN DE BAVARIA SAB-MILLER⁵

Crecer en el mercado a un consumo per-cápita de 60 litros, asegurando el liderazgo de nuestro portafolio de marcas nacionales e internacionales en cada una de las categorías de bebidas y en todos los segmentos del mercado.

3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El conocimiento claro y preciso de los elementos que forman parte del proceso, es un aspecto fundamental para la correcta definición del sistema. A un sistema ingresan variables, las cuales interactúan entre si y con el entorno, transformándose en variables de salida que deben aportar a la consecución del objetivo del sistema (véase figura 3). Un sistema puede estar contenido dentro de otro sistema, y éste a su vez puede contener otros subsistemas.

Figura 3. Dinámica de un sistema



Fuente: Los autores

El proceso productivo de la Cervecería Bucaramanga, puede considerarse como un sistema, ya que cuenta con elementos de entrada (servicios, materias primas, insumos, etc.) que son transformados en elementos de salida (productos) por medio de interacciones (operaciones de proceso en los subsistemas).

La metodología empleada para la definición del sistema se realizó de la siguiente manera: se dividió el proceso cervecero en los distintos subsistemas que lo conforman y estos se desglosaron en otros subsistemas y así sucesivamente hasta identificar todos los elementos involucrados. Es así como el sistema “Proceso productivo de la Cervecería Bavaria SAB-Miller de Bucaramanga” se dividió en cinco subsistemas fundamentales: Elaboración de mosto (Cocinas), Manejo y Propagación de levadura, Uniproceso, Filtración y Envase. Para una mejor comprensión del modelo a desarrollar, se explica a continuación cada uno de los subsistemas.

3.1. ELABORACIÓN DE CERVEZA

3.1.1. Elaboración de mosto

La Elaboración de mosto está constituida por actividades iniciales como el manejo y transformación de las materias primas, hasta el envío del mosto al Uniproceto.

a. Materias Primas

El proceso cervecero comienza con el abastecimiento de las materias primas. Entre las principales materias primas que demanda la elaboración de Cerveza están: agua, malta, arroz, lúpulo, jarabe de maíz, levadura cervecera, jarabe de azúcar y otros aditivos como lo son: sales correctoras, zinc, ácido fosfórico, etc. Todos los materiales descritos deben ser almacenados en una cantidad apropiada y bajo parámetros establecidos de temperatura, humedad, entre otros, para así asegurar la calidad del producto final.

- **Agua: captación, tratamiento y almacenamiento**

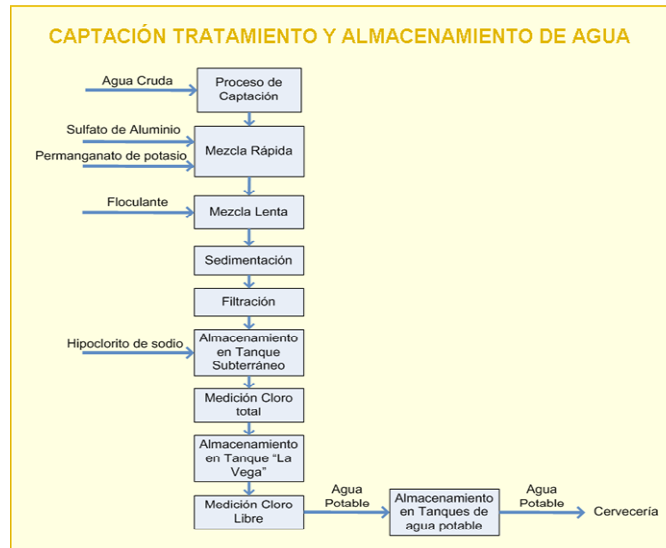
El agua es captada del río Suratá con un caudal no mayor de 75 L/s y a la cual se le realiza todo el tratamiento de potabilización. En términos generales, el tratamiento que se le da al agua entrante consiste en adicionar compuestos como el sulfato de aluminio (coagulante) y permanganato de potasio (oxidante) mediante un canal de mezcla rápida para luego pasar al proceso de floculación conformado por tabiques verticales que hacen que el agua dé un recorrido de 93 metros de longitud en zigzag. Estos tabiques permiten la disminución de la velocidad del agua y así mismo aseguran la agitación y colisión de las partículas debido a los remolinos que se forman en su trayecto, logrando la aglutinación de dichas partículas formando el floc. Luego se pasa a la etapa de sedimentación que tiene como objeto producir una precipitación del floc para lograr una clarificación completa del agua. En la sedimentación, el agua es retenida en un periodo de 3 ½ horas.

El agua es filtrada y vertida al canal central de recolección hasta llegar a un tanque llamado "La Vega" con capacidad de 180 m³ en donde se le adicionan elementos químicos estabilizadores del pH y donde se desinfecta por medio de cloro. Luego se

conduce a los tanques de almacenamiento "Agua Brisa" que tienen una capacidad total de 3.800m³. Cada tanque se encuentra dotado de salida especial para la sección de Agua Brisa, red de incendios, Elaboración de mosto y embotellado, además del abastecimiento de agua para toda la Cervecería.

En la figura 4 se puede observar el subsistema de captación, tratamiento y almacenamiento de agua. Allí se muestra de forma secuencial (de arriba a abajo) el momento del ingreso de las variables de entrada, el proceso que se realiza y las variables de salida que arroja cada subsistema.

Figura 4. Subsistema captación, tratamiento y almacenamiento de agua



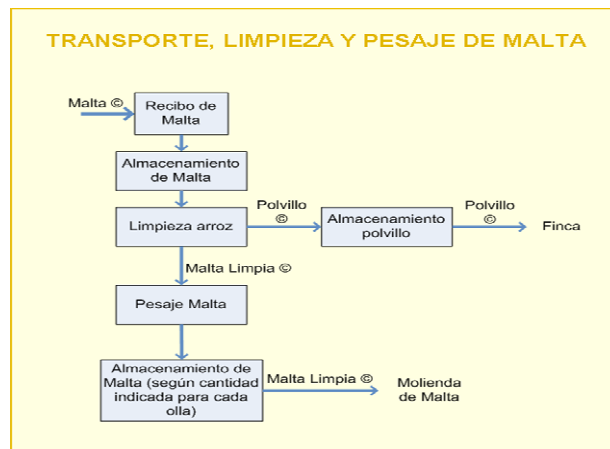
Fuente: Los Autores

- **Malta: transporte, limpieza y pesaje**

La malta es almacenada en 4 silos con capacidad de 300 Toneladas cada uno, donde se puede disponer para su consumo inmediato. Con la ayuda de bandas sinfines, la malta es transportada hacia el área de Cocinas donde comienza su proceso de limpieza, el cual consiste en retirar las impurezas (piedras, objetos metálicos, granos de otro cereal, raicillas, polvo, etc.) que afecten la calidad del producto.

La malta limpia es llevada a una báscula, donde es pesada por intervalos de 40 kilogramos hasta lograr la cantidad total requerida por cocimiento de acuerdo a la receta. Cumplida esta cantidad, se termina el transporte de malta de los silos hacia el área de Cocinas. La malta pesada se almacena en una tolva esperando su próximo destino. La figura 5⁶ muestra todo el proceso relacionado con el manejo de la malta antes de su utilización.

Figura 5. Subsistema transporte, limpieza y pesaje de malta



Fuente: Los Autores

- **Molienda de malta**

La molienda de malta es un proceso que por medio de rodillos se tritura el grano de la cebada malteada de manera cuidadosa sin que este grano salga de su cáscara para que ésta después sirva en un proceso futuro como lecho filtrante. Dicha molienda se hace húmeda para facilitar el transporte de la malta y obtener mejores condiciones del grano para sus posteriores procesos. Para esto la molienda es acondicionada por remojo, asegurando una humedad cercana al 50%, la cual se obtiene agregando agua tibia (temperatura entre 40°C y 50°C). La cantidad de agua que se agrega al molino depende

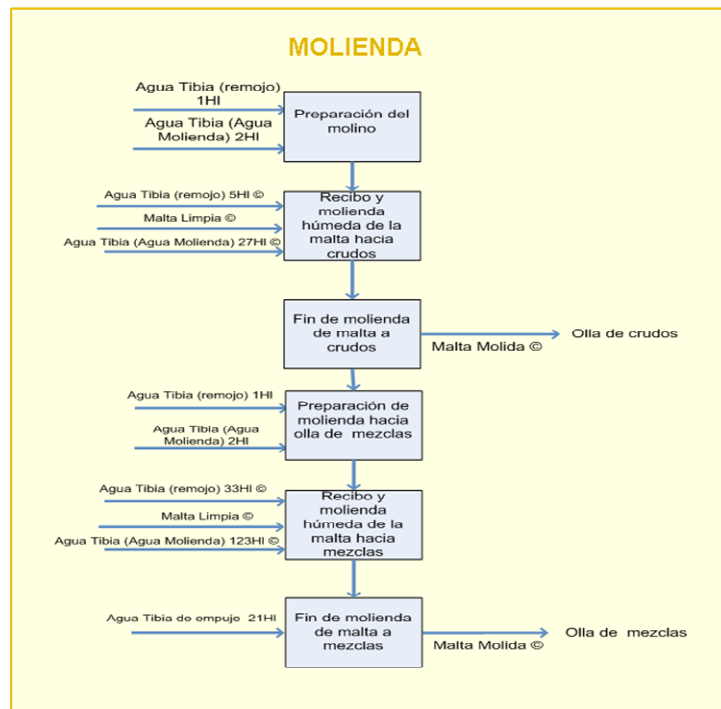
⁶ € - Aquellos hechos que se produzcan eventualmente debido a condiciones en el sistema o su entorno se identifican con este símbolo. © - Aquellas cantidades o tiempos que se lleven a cabo por medio de un proceso continuo o a través de varias actividades seguidas se identifican con este símbolo.

de la cantidad de malta a moler y se agrega de forma continua y simultáneamente a la entrada del cereal proveniente de la tolva de almacenamiento.

Por cada cocimiento el proceso de molienda se repite dos veces, la primera parte de la molienda se bombea hacia la olla de crudos con el objeto de suministrar las enzimas necesarias para lograr la gelatinización de los almidones del adjunto crudo (arroz). La malta en crudos consiste en el 15% del total de cereal que entra a la olla. La segunda molienda se envía a la olla de mezclas donde esperará por cerca de 90 minutos antes de mezclarse con lo saliente de la olla de crudos.

Las variables de entrada, los procesos y las variables de salida para el proceso de la molienda de malta están descritas en la figura 6.

Figura 6. Subsistema molienda de malta



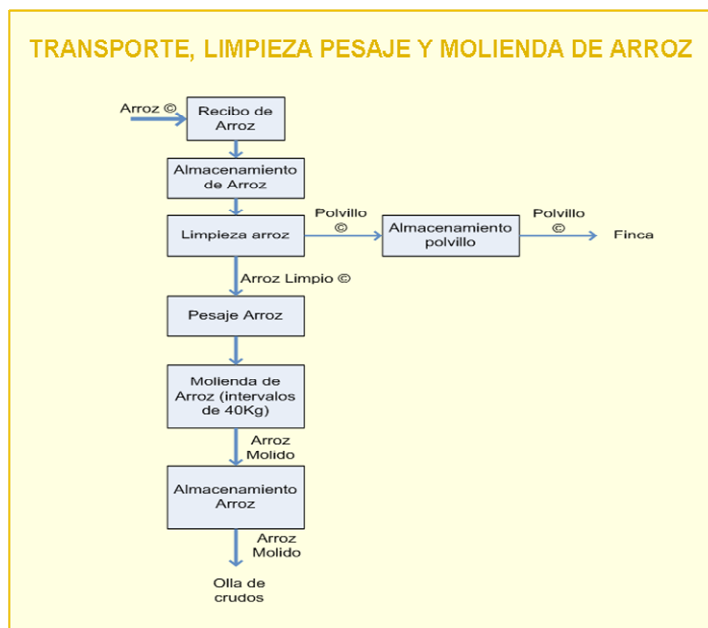
Fuente: Los Autores

- **Arroz: transporte, limpieza, pesaje y molienda**

Esta etapa inicia con el transporte desde los silos de arroz hasta la limpiadora de arroz, donde al igual que en el proceso de la malta se busca extraer el polvillo y otras partículas que alteren la calidad del mosto. Este polvillo extraído del arroz y de la malta se almacena en una tolva para luego ser usado como concentrado para animales.

Luego de tener el arroz limpio se procede a pesar la cantidad establecida por la receta para el cocimiento. Luego de pasar por la báscula, el arroz se empieza a moler, proceso que a diferencia de la malta se lleva a cabo en seco y por medio de martillos. El arroz molido se almacena en la tolva de arroz, para posteriormente enviarlo a la olla de crudos, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Subsistema transporte, limpieza, pesaje y molienda de arroz



Fuente: Los Autores

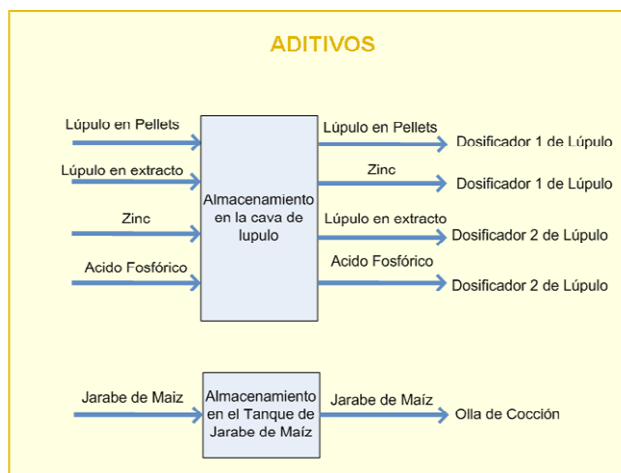
- **Aditivos**

Los aditivos son los insumos agregados en las distintas etapas de la Elaboración de mosto. Constituyen un factor importante dentro del proceso, ya que su adición ayuda a la

consecución de características propias del producto, como el sabor, aroma, extracto aparente y color.

Dentro de los principales aditivos para la Elaboración de mosto están el lúpulo, el jarabe de maíz, zinc y color. El lúpulo, el zinc y el color caramelo son almacenados en cavas a temperaturas bajo cero mientras se procede su envío a los dosificadores de lúpulo (ver figura 8). El jarabe de maíz es almacenado en un tanque en el que con la ayuda del calor proveniente del vapor proporcionado por el área de calderas se inyecta a la olla de cocción en el momento indicado. Ver el diagrama de generación y manejo de vapor en anexo C.

Figura 8. Subsistema manejo de aditivos



Fuente: Los Autores

b. Sala de cocimientos (cocina)

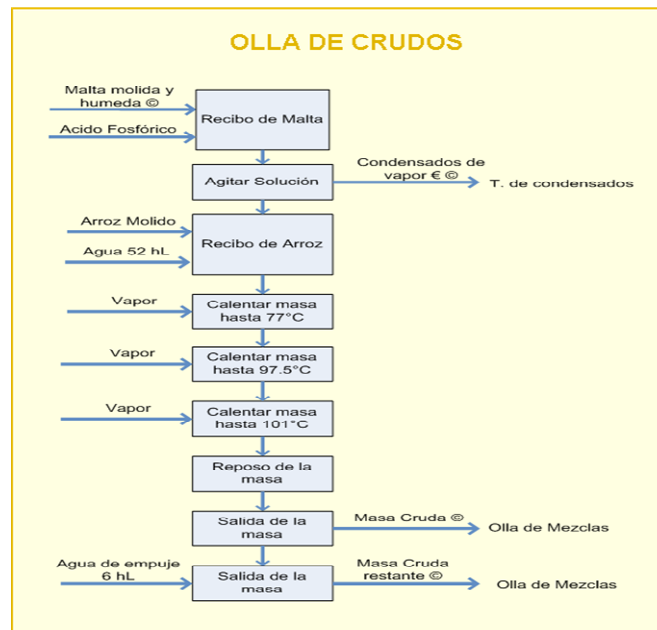
El objetivo principal en la Sala de cocimientos es transformar el agua, las harinas de malta, los adjuntos y los aditivos en un líquido rico en azúcares llamado mosto. Entre las estaciones mas importantes en la Sala de cocimientos se encuentran cinco ollas y un tanque llamado tanque auxiliar de mosto. Cada estación tiene su función definida como se detalla a continuación.

- **Olla de crudos**

En la olla de crudos se inicia el proceso de elaboración del mosto y éste empieza con la adición de malta húmeda proveniente del molino. Al terminar el recibo de malta, la olla recibe la proporción de arroz y agua tibia proveniente de los tanques de almacenamiento. Durante la adición de estas materias primas, los agitadores de la olla se encuentran en funcionamiento para así obtener una masa homogénea y evitar una viscosidad indeseada.

Las válvulas de vapor se abren para subir la temperatura hasta 72°C, al alcanzar esta temperatura, se inicia un periodo de reposo en el cual la olla no recibe vapor y la masa sigue agitándose a una velocidad menor. Después de cumplir el tiempo de reposo, se abren las válvulas de vapor para llevar la masa a una temperatura superior a los 90°C y ésta es bombeada a la olla de mezclas. Este proceso se puede observar en la figura 9.

Figura 9. Subsistema olla de crudos



Fuente: Los Autores

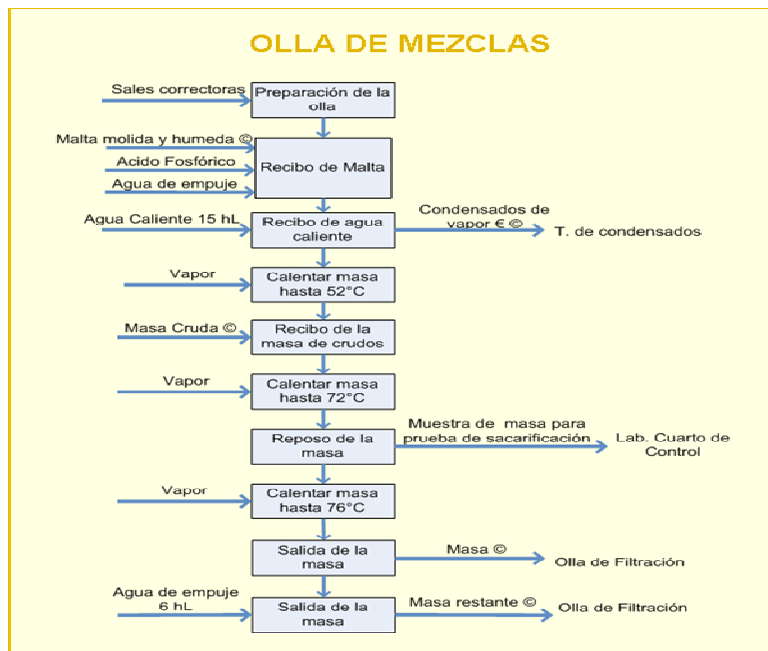
Cerca de 90 minutos antes del fin del proceso en crudos, ya se ha empezado el proceso en la olla de mezclas y está todo coordinado para que coincidan las temperaturas y la masa no tenga cambios bruscos que finalmente alteren la calidad del mosto.

- **Olla de mezclas**

El proceso en mezclas inicia cuando se agregan sales correctoras a la olla (cloruro de calcio), éstas se adicionan para que junto al ácido fosfórico aseguren un pH entre 5.4 y 5.5 en la masa final. Posteriormente comienza la molienda de malta para mezclas justo cuando el primer reposo de la masa en crudos lleva aproximadamente 10 minutos.

Luego del recibo del total de malta proveniente del molino, se adiciona agua caliente y se abren las válvulas de vapor para subir la temperatura a un valor específico. Después la masa entra en reposo y comienza el recibo de masa proveniente de la olla de crudos. Al recibir la totalidad de la masa que se encontraba en crudos, se lleva la mezcla a 72°C, hasta que después de dos horas de proceso en mezclas, los almidones de las materias primas han sido transformados en azúcares fermentables, dándose como finalizado el proceso en esta olla y bombeándose la masa a la olla de filtración. La figura 10 muestra el proceso de la masa en la olla de mezclas.

Figura 10. Subsistema olla de mezclas



Fuente: Los Autores

- **Olla de filtración**

La filtración consiste en la transformación de la masa a un líquido llamado “mosto”. La materia pasa de llamarse masa a llamarse mosto cuando el material líquido es separado de las partículas sólidas incluyendo principalmente la cáscara del grano de malta.⁷

El proceso comienza cuando a la olla de filtración se le adicionan 15 HI de agua caliente, 10 minutos después se recibe la masa proveniente de la olla de mezclas. Cuando se encuentra la totalidad de la masa en la olla de filtración se inicia un movimiento lento de las cuchillas que tiene en el interior dando inicio a la primera filtración.

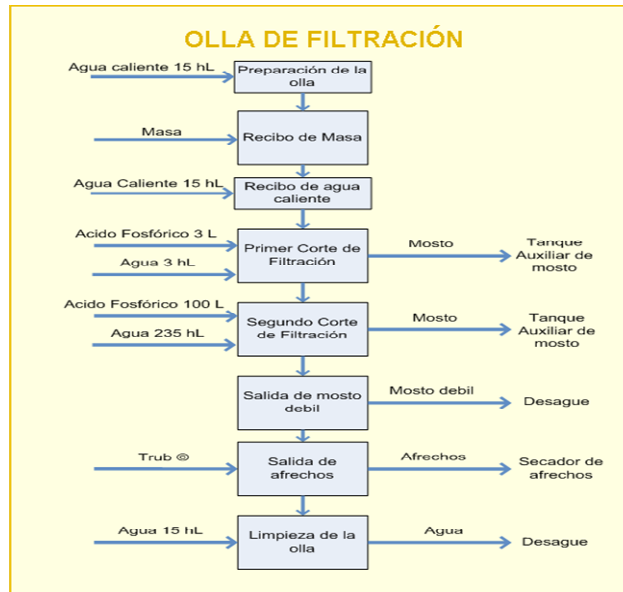
El mosto que pasa por los orificios del falso fondo es drenado al tanque auxiliar de mosto, donde es almacenado temporalmente para luego ser enviado a la olla de cocción. La sustancia sólida que queda depositada en el falso fondo, recibe el nombre de afrecho el cual se envía a una tolva (tolva de afrechos) para luego ser secado y usado como concentrado para animales.

El primer corte finaliza cuando se han filtrado 210 HI e inmediatamente la olla entra en reposo con el objetivo de disminuir la presión y evitar el paso de partículas sólidas en el mosto filtrado. Luego se reciben 235 HI de agua caliente provenientes de los tanques de almacenamiento y 100 L de ácido fosfórico necesarios para comenzar la segunda filtración, la cual concluye cuando se completan los 470 HI filtrados. El mosto restante luego de filtrados 470 HI es denominado mosto débil y por cuestiones de calidad debido a que no cumple con el extracto ideal es enviado al desagüe.

Antes de completar el proceso de filtración, el mosto que se encuentra en el tanque auxiliar, se bombea a la olla de cocción, pasando primero por un calentador de mosto con el fin de aumentar su temperatura y reducir el tiempo de calentamiento en la olla de cocción. Los procesos de los subsistemas olla de filtración y tanque auxiliar se pueden observar en las figuras 11 y 12.

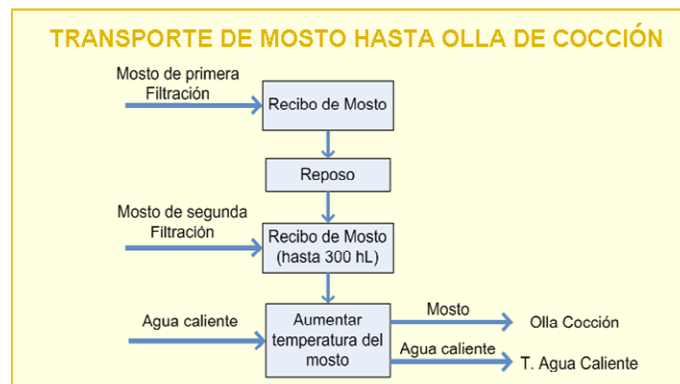
⁷ BAVARIA. Elaboración del Mosto en la Sala de cocimientos. Pág 9

Figura 11. Subsistema olla de filtración



Fuente: Los Autores

Figura 12. Subsistemas tanque auxiliar y calentador de mosto



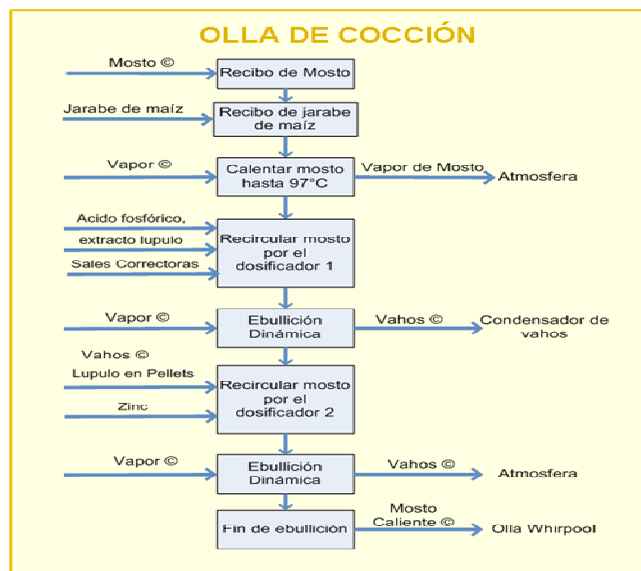
Fuente: Los Autores

- **Olla de cocción**

El recibo de mosto proveniente del tanque auxiliar se inicia cuando se hayan acumulado 300 HI en dicho tanque. El mosto previamente calentado ingresa a la olla de cocción e inmediatamente se abren las válvulas de vapor con el objeto de inactivar enzimas, coagular las proteínas y eliminar cualquier microorganismo. Al finalizar el recibo del mosto en la olla, se adiciona el jarabe de maíz, se agrega el lúpulo y las sales correctoras.

Durante el proceso en la olla de cocción se efectúan dos tipos de ebullición: dinámica y atmosférica. La ebullición dinámica consiste en el aprovechamiento del vapor producido en la olla para el beneficio de otras partes del proceso de Elaboración de mosto, el vapor transfiere su calor al agua fresca proveniente de los tanques de almacenamiento, obteniendo como resultado, agua caliente que es utilizada para el calentamiento del mosto durante el transporte de la olla de filtración hacia la de cocción⁸. La ebullición atmosférica se efectúa al permitir la salida de los vapores producidos por la olla al ambiente. Finalizados todos los procesos en la olla de cocción en los que se somete el mosto a temperaturas superiores a los 100°C por más de una hora, se concluye con el bombeo del mosto a la olla whirlpool o de sedimentación. El proceso en la olla de cocción se puede detallar en la figura 13.

Figura 13. Subsistema olla de cocción



Fuente: Los Autores

- **Olla whirlpool**

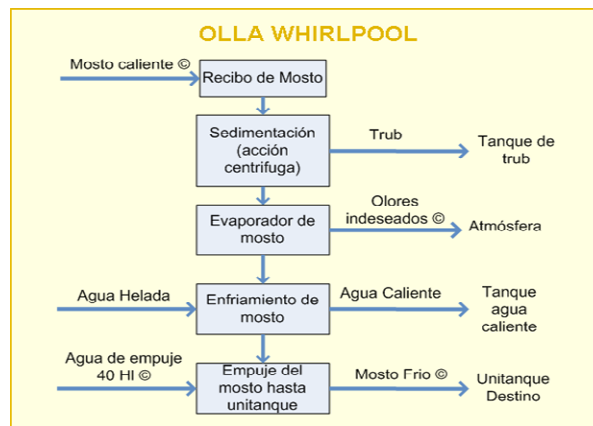
En esta olla se realiza la sedimentación de las partículas coaguladas en el mosto que proviene de la olla de cocción. La entrada del líquido se hace de manera tangencial

⁸ Ibid., Pág. 12

haciendo que éste gire al interior de la olla formándose una capa viscosa en el centro, esta cantidad de partículas coaguladas se le llama Trub. El Trub luego del proceso en whirlpool es enviado a la tolva de afrechos.

Saliendo de la olla whirlpool, el mosto en un proceso continuo, se hace pasar por un evaporador que elimina los olores indeseados, luego por un intercambiador de calor donde ocurre un cambio drástico de temperatura en el mosto (de 100 °C a 12 °C) con la ayuda de agua helada, después por el aireador, para finalmente ser enviado al Uniproceso. Concluido el envío de mosto al Uniproceso se hacen pasar cerca de 40 HI de agua, para así asegurar que la totalidad del mosto ingrese al Unitanque seleccionado. El Producto final del área de Cocinas es un cocimiento conformado por casi 450 HI con intervalos de tiempo que promedian 2 horas. Todas las actividades llevadas a cabo en la olla whirlpool y las demás anteriormente explicadas se pueden observar en la figura 14. El diagrama para el proceso de Elaboración de mosto se presenta en los anexos D y K.

Figura 14. Subsistemas olla whirlpool, evaporador y enfriador



Fuente: Los Autores

3.1.2. Propagación y manejo de la levadura

a. Propagación de levadura

La reproducción de la levadura (microorganismo unicelular responsable de la fermentación del mosto) es muy importante en el sistema de producción de la Cerveza y

más específicamente en el área de Uniproceso. La levadura debe estar en condiciones óptimas para así garantizar el normal desarrollo en la etapa de fermentación de la Cerveza.

El proceso de propagación de la levadura comienza cuando al laboratorio de calidad llega un cultivo de unas cuantas células de levadura. Allí, se reproducen hasta obtenerse 20 L. Un total de 55 HI de mosto se extraen de un cocimiento aleatorio saliente de Sala de Cocinas y se almacena en un tanque de propagación llamado YPT2 adaptado para el proceso de propagación, a donde también entrarán los 20 L de levadura, y donde se espera se propaguen durante los siguientes 6 días. Cumplida esta etapa, se toma un cocimiento completo de mosto saliente de Sala de Cocinas y se envía a un Unitanque especial utilizado únicamente para el proceso de propagación de levadura (Unitanque 25). Al Unitanque 25 entra tanto el cocimiento de mosto (cantidad superior a 440 HI), como los 55 HI de levadura propagada.

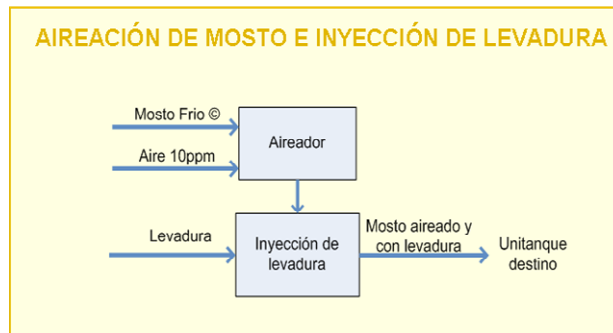
En el Unitanque 25 ocurre la fermentación de mosto y propagación de levadura en el transcurso de 6 días. Culminado el tiempo de propagación en el Unitanque 25 este líquido, que puede tomar el nombre de Cerveza verde, será el primer cocimiento entrante de un Unitanque con capacidad de 2,800 HI. Este proceso se hace de esa manera debido a que la levadura de primer uso se puede aprovechar mejor cuando se recolecta de un tanque grande en vez de si este proceso se hiciera en aquellos Unitanques con capacidad de 4 cocimientos (Unitanques del 1 al 24).

- **Inyección de levadura**

La levadura se inyecta al mosto durante su transporte hacia el Unitanque de destino, justo después de su enfriamiento y aireación en el área de Cocinas. La levadura que se recoge al finalizar el proceso de fermentación en los Unitanques es almacenada en 6 colectores dispuestos para ese fin. En los Unitanques con capacidad para 4 cocimientos (2,000 HI) la inyección de la levadura se realiza únicamente en el primer cocimiento entrante, mientras que para los Unitanques con capacidad para 6 cocimientos (2,800 HI) la inyección de levadura se hace en los cocimientos en orden 1 y 3; esto se hace con el objetivo de que la

fermentación se desarrolle a la razón necesaria para el proceso (aproximadamente durante 6 días). El proceso de inyección de levadura se puede observar en la figura 15.

Figura 15. Subsistemas de aireación e inyección de levadura



Fuente: Los Autores

3.1.3. Uniproceto

El Uniproceto es la etapa en la cual el mosto que ha sido elaborado en Sala de cocimientos es transformado en Cerveza. La Cervecería de Bucaramanga cuenta con 24 Unitanques (Unitanques 1 al 24) con capacidad de 2,000 HI (4 cocimientos) y 7 Unitanques (Unitanques 26 al 32) con capacidad de 2,800 HI (6 cocimientos), considerando que cada cocimiento está conformado por mas de 440 HI de mosto. Adicionalmente, existe otro Unitanque (Unitanque 25) que está dispuesto para el almacenamiento y propagación de la levadura.

Los cocimientos llegan al área de Uniproceto con un intervalo de tiempo que oscila en 2 horas, sin embargo, el tiempo que transcurra entre el primer llenado y el último, no debe ser superior a 18 horas. En el Unitanque el mosto dura cerca de 15 días mientras ocurre su fermentación y maduración para finalmente terminar saliendo con el nombre de Cerveza. Durante esos 15 días ocurren grandes transformaciones en el producto, donde bajo estrictos controles se asegura su calidad.

a. Fermentación y control de temperatura

La fermentación es la etapa en la cual la levadura se alimenta de los azúcares contenidos en el mosto para luego convertirlos en alcohol y gas carbónico. Luego de recibir los 4 o 6 cocimientos según haya sido el Unitanque de destino, comienza a circular amoniaco líquido alrededor del Unitanque y por medio de chaquetas térmicas se mantiene una temperatura cercana a los 12°C (ver diagrama de manejo de amoniaco en anexo E). Durante esta etapa la levadura se alimenta de los azúcares del mosto, reduciendo su extracto a un 50% (desde 16 ºP hasta 8 ºP), proceso que dura alrededor de 5 días⁹. Para controlar la atenuación del extracto, diariamente se toman muestras del mosto en fermentación, o Cerveza Verde y se registran los valores de extracto que se produzcan como resultado.

b. Reducción de Diacetilo

El diacetilo es un subproducto generado durante la etapa de fermentación de la Cerveza. Según el tipo de levadura que se utilice, la producción de diacetilo será mayor o menor¹⁰. Una producción alta en los niveles de diacetilo puede ocasionar diferencias en el sabor y aroma de la Cerveza. Cuando el extracto en el mosto se ha reducido en un 50%, la temperatura del tanque se deja subir de forma controlada hasta los 15.5 °C. Este incremento en la temperatura activa aun más el movimiento de la levadura dentro del Unitanque, por lo que ésta tendrá mayor necesidad de alimento y consumirá el diacetilo.

c. Recolección de gas carbónico

El gas carbónico producido en el proceso de transformación de azúcares por la levadura, se extrae con el objeto de ser purificado y luego inyectado a la Cerveza al momento que ésta se envase (ver diagrama de manejo de CO_2 en anexo F).

⁹ BAVARIA. Documento: Uniproceso. Pág. 3

¹⁰ DE MESONES, Boris. Manual Práctico del Cervecerero. [citado 9 abril de 2008]. Disponible en internet:<URL: <http://www.cerveceria.info/fermento.html> >

d. Primer enfriamiento

Cuando el extracto del mosto en fermentación alcance un valor igual o inferior al extracto limite más 0,4 °P (alrededor de 4 °P según la marca), el sistema de refrigeración del tanque se activa, logrando con esto una reducción del calor del tanque hasta llegar a una temperatura entre 4°C y 5°C. Este proceso tiene el objeto de suspender la actividad de la levadura, produciendo su sedimentación en el fondo del tanque. Este enfriamiento debe realizarse en forma gradual en 48 horas (aproximadamente 0.2 °C por hora). Hasta este punto el proceso al interior del Unitanque se asemeja a una fermentación tradicional, logrando la conversión de mosto a Cerveza verde¹¹.

e. Recolección de levadura

Una vez se llegue a una temperatura por debajo de los 0.5°C se extrae la levadura sedimentada en el Unitanque y se envía a alguno de los 6 tanques colectores. No es adecuada la reutilización de la levadura que se sedimentó en primer o último lugar. La levadura que se encuentra en la porción intermedia del sedimento presenta mejores características de comportamiento para futuras fermentaciones. La levadura se utiliza un máximo de 4 veces, cumplida esta cantidad, es eliminada por medio de un método llamado autólisis y enviada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

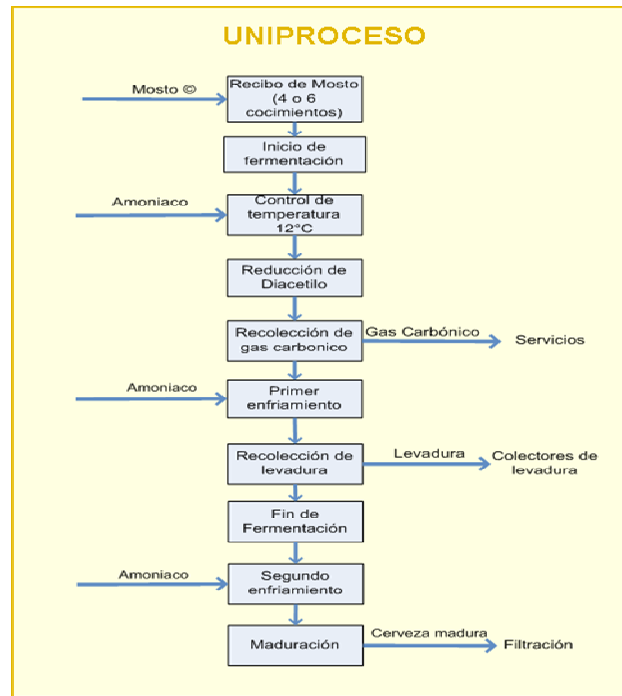
f. Segundo enfriamiento y maduración

En esta etapa se busca llevar al tanque en el menor tiempo posible pero de manera homogénea y progresiva a una temperatura de -1.5°C, con el objeto de comenzar la maduración de la Cerveza verde. La maduración teóricamente inicia cuando la temperatura en el Unitanque llega a 0°C y debe durar en este proceso 4 días como mínimo. El objeto de la maduración es obtener una sustancia homogénea con la mayor claridad y principalmente otorgarle un mejor sabor a la Cerveza. Al finalizar esta etapa, se inicia el envío de Cerveza hacia el proceso de filtración.

¹¹ BAVARIA, Op. Cit., Pág. 4

Todas las actividades que se llevan a cabo en el Unitanque desde la llegada del mosto, hasta la salida de la Cerveza hacia filtración se encuentran en la figura 16. En el anexo G se encuentra un diagrama que detalla el flujo de las operaciones en el área de Uniprocreso incluyendo el manejo que se tiene para la levadura utilizada.

Figura 16. Subsistema Uniprocreso



Fuente: Los Autores

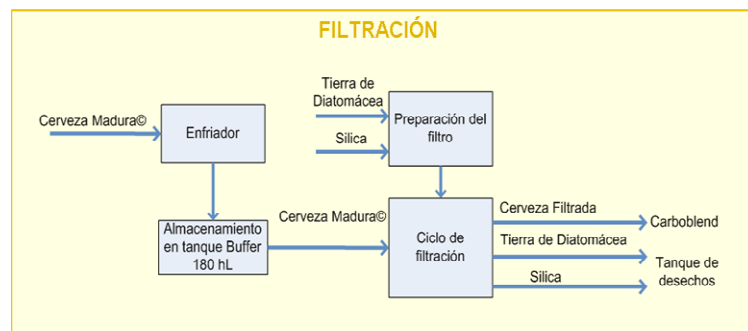
3.1.4. Filtración

Con el fin de disminuir la turbiedad, mejorar el brillo y estabilidad en las características fisicoquímicas del producto, la Cerveza madura proveniente del Uniprocreso es sometida a un proceso de filtración.

La Cerveza sale del Unitanque a una temperatura de -1°C y se hace pasar por un enfriador que la lleva hasta -2°C . Esta Cerveza ingresa a un tanque buffer de capacidad de 180 HI y cuya función es asegurar un flujo continuo de Cerveza mientras ocurre el proceso de filtración.

El funcionamiento del Filtro consiste en la instalación de placas recubiertas de tierra de diatomácea, en las cuales quedan retenidas las partículas sólidas producidas en el Uniproceso (levadura no sedimentada, partículas coaguladas, entre otras). Los ciclos en la filtración están determinados por la calidad de la tierra de diatomácea instalada en las placas y las condiciones en las que sale la Cerveza del Uniproceso. Cuando aparece un aumento considerable en la presión con la que se filtra la Cerveza, la tierra de diatomácea debe ser cambiada, originando el inicio de un nuevo ciclo de filtración, este proceso de adaptación del Filtro dura no menos de dos horas, tiempo en el cual la Cerveza lista para filtrar debe esperar a que el nuevo ciclo inicie. Finalmente la Cerveza filtrada pasa por un sistema de dilución o mezcla llamado Carboblend para después ser almacenada en los Tanques de Contrapresión, donde posteriormente pasa a las diferentes líneas de envase. La figura 17 muestra el subsistema de filtración y todas las actividades que allí ocurren.

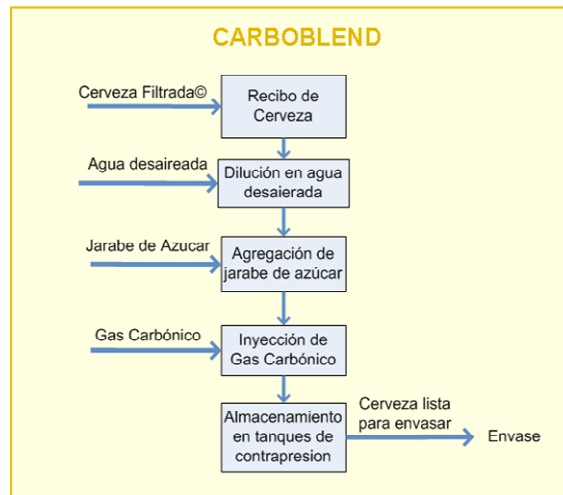
Figura 17. Subsistema Filtración



Fuente: Los Autores

Un elemento importante en el área de Filtración es el Carboblend. El Carboblend es un sistema de mezcla, en el cual la Cerveza filtrada es diluida en agua desaireada y otras sustancias. La proporción entre la Cerveza y el agua es de 1 HI de Cerveza por 0,67 HI de agua. El gas carbónico recolectado en el Uniproceso pasa por un proceso de purificación y es inyectado a la Cerveza por medio del sistema de Carboblend. El Carboblend es donde la Cerveza pasa a identificarse por una marca, Águila o Costeñita. El factor más importante que diferencia las dos marcas es que al Águila se le adiciona jarabe de azúcar y a la Costeñita no. La figura 18 representa el funcionamiento del subsistema Carboblend.

Figura 18. Subsistema Carboblend y Contrapresión



Fuente: Los Autores

La Cerveza que ha sido diluida en el Carboblend, ingresa a los 6 Tanques de Contrapresión existentes (1,200 HI cada uno) con el fin de que aquí se almacene y luego se envíe a la zona de Envase. En el anexo H se encuentra un diagrama que detalla el flujo de las operaciones para las áreas de Filtración y Contrapresión.

3.2. ELABORACIÓN DE PONY MALTA

La producción de Pony Malta se realiza en una proporción de 1/100 respecto a la producción de Cerveza, es decir, luego de 2 semanas de producción de Cerveza (110 cocimientos) se cocinan 4 cochadas¹² de Pony Malta, sin embargo, los estándares de calidad no diferencian las dos referencias.

El flujo de producción de Pony Malta es semejante al de la Cerveza e involucran las mismas áreas, pero en ciertas locaciones las actividades o procesos se diferencian claramente. Aunque los dos productos compartan los mismos recursos, éstos nunca logran mezclarse. Tanto las ollas como tanques y demás estaciones son previamente aseados antes de su reutilización.

¹² Cochada: termino que hace referencia a un cocimiento de Cerveza o Pony Malta

3.2.1 Elaboración de mosto de Pony Malta

A diferencia del mosto de Cerveza, el de la Pony Malta solo está compuesto por agua, malta y otros aditivos en pequeñas proporciones. El mosto de Pony Malta se comienza a cocinar en la olla de mezclas omitiendo cualquier proceso en la olla de crudos y aunque los tiempos de ocupación en las ollas restantes son diferentes a los del mosto cervecero, el flujo en Cocinas es el mismo.

A diferencia de los 440 HI promedio salientes hacia Uniproceto de Cerveza, 470 HI de Pony Malta son el resultado de más de 5 horas de proceso para cada cocimiento de Pony Malta. El mosto de Pony Malta, se enfría y se envía al Uniproceto.

3.2.2 Maduración del mosto de Pony Malta

El mosto saliente del área de Cocinas se envía a un Unitanque de capacidad de 4 cocimientos (Unitanques del 1-24). En el Unitanque y a una temperatura cercana a 0°C se tiene previsto que los 4 cocimientos de Pony Malta duren cerca de 4 días. Durante este tiempo ocurre la maduración del mosto, este proceso consiste en otorgarle mejores cualidades físico-químicas al producto para su consumo.

A diferencia de la Cerveza en el Uniproceto, la Pony Malta no sufre un proceso de fermentación, debido a que no hay adición de levadura y el producto saliente del Unitanque no contiene ninguna proporción de alcohol. Luego del tiempo de proceso dentro del Unitanque, la Pony Malta, al igual que la Cerveza es bombeada al área de Filtración.

3.2.3 Filtración de Pony Malta

El proceso de filtración de Pony Malta es muy similar al de la Cerveza, pero este se lleva a cabo en Filtros independientes. El Filtro enziger es donde se filtra la Pony Malta, este trabaja con un flujo menor que el steinecker (Filtro de Cerveza) y con ciclos que promedian los 1,200 HI.

Luego de la filtración, la Pony Malta pasa por el Carboblend, donde se disuelve en agua al 100%. Finalmente la Pony Malta disuelta se almacena en los Tanques de Contrapresión, donde luego de un tiempo de reposo es enviada a la línea de envase 2.

3.3. ENVASE DE CERVEZA Y DE PONY MALTA

Consiste básicamente en el depósito del líquido proveniente de los Tanques de Contrapresión en botellas previamente lavadas e inspeccionadas. El lavado de las botellas se lleva a cabo en lavadoras especiales con una capacidad mayor de 30,000 unidades con la ayuda de soda cáustica, agua caliente, entre otras. Por medio de bandas transportadoras, las botellas se hacen pasar por un inspector electrónico que garantiza aún más su higiene, para después pasarlas por las máquinas envasadoras.

La Cerveza que viene de los Tanques de Contrapresión se envasa en las botellas y casi en forma simultánea, cada botella se tapa herméticamente para garantizar su pureza y estabilidad física. Después, las botellas se someten a un proceso de pasteurización, logrando la estabilidad biológica del producto y su conservación durante largos períodos. Al salir de la pasteurizadora, las botellas se transportan hasta las etiquetadoras y fechadoras para finalmente ser encanastadas y organizadas en estibas para enviarlas al Depósito quedando listas para su distribución y venta.

Cada una de las máquinas del área trabaja a una velocidad determinada y con una capacidad de proceso de botellas instalada, siendo estas dos restricciones, constantes a través del tiempo. Las máquinas que presiden las envasadoras (depaletizadora, desencanastadora y lavadora) manejan mayor número de botellas por unidad de tiempo, para asegurar su abastecimiento constante. Así mismo, las máquinas que le siguen (pasteurizadora, etiquetadoras, encanastadora y paletizadora) tienen una capacidad superior despejando el área y permitiendo a las envasadoras trabajar libremente. Los diagramas que muestran el flujo de las operaciones en las líneas de envase 1 y 2 se presentan en los anexos I y J respectivamente, la diagramación de todo el sistema se encuentra en el anexo K y el total del proceso cervecero se encuentra graficado en el anexo W.

4. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información necesaria para el desarrollo del modelo de simulación tuvo en cuenta la siguiente metodología:

- Determinar la información necesaria
- Identificar las fuentes de información
- Recolectar la información en el sitio
- Analizar la información

4.1. NECESIDADES DE INFORMACIÓN

Los requerimientos de información para la construcción del modelo están condicionados por el alcance y el nivel de detalle que se ha definido previamente para la simulación.

La información a ser recolectada puede ser agrupada en 3 categorías: información estructural, información operacional, e información numérica¹³. Las dos primeras están contenidas en la definición del sistema, el alcance y nivel de detalle de la simulación y hacen referencia a los elementos e interacciones que van a ser tenidos en cuenta en el desarrollo del modelo, mientras que la información numérica es necesaria para representar en forma cuantitativa lo que está sucediendo dentro del sistema. La información numérica necesaria para la construcción del modelo de simulación es:

- Cantidad de malta que ingresa al molino de malta para la elaboración de Cerveza y Pony Malta por cocimiento.
- Cantidad de arroz que ingresa al molino de arroz por cocimiento.
- Cantidad de agua suministrada a cada una de las ollas en área de Cocinas para la elaboración de Cerveza y Pony Malta.
- Tiempo de ocupación en las ollas de crudos, mezclas, filtración, cocción y whirlpool y tiempo de ocupación en el tanque auxiliar para cada referencia.

¹³ HARREL, Charles y GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce, Op. Cit., Pág 128

- Tiempo que transcurre entre el inicio de un cocimiento y el inicio del cocimiento siguiente.
- Tiempo que transcurre entre el inicio de un cocimiento de Cerveza y el inicio de un cocimiento de Pony Malta.
- Tiempo que transcurre entre el inicio de un cocimiento de Pony Malta y el inicio de un cocimiento de Cerveza.
- Tiempo de descanso y de aseos para todas las ollas entre un cocimiento y el próximo.
- Número de cocimientos de Cerveza antes de cocinar Pony Malta.
- Número de cocimientos de Pony Malta antes de volver a cocinar Cerveza.
- Número de cocimientos que se realizan en la semana antes de iniciar el aseo del fin de semana.
- Tiempo de aseo a la olla de cocción cuando un Unitanque ha sido llenado.
- Tiempo de aseo para la Sala de cocimientos durante el fin de semana.
- Cantidad saliente de la olla whirlpool hacia Uniproseso.
- Tiempo de ocupación el Uniproseso (fermentación, enfriamiento y/o maduración según la marca) dentro del tanque.
- Tiempo de aseo o preparación de los Unitanques.
- Tiempo de propagación en el Unitanque 25.
- Velocidad de transferencia desde el Uniproseso hacia el área de Filtración (caudal del Filtro).
- Cantidad filtrada en cada ciclo del Filtro, para Cerveza y Pony Malta.
- Tiempo de preparación del Filtro de Cerveza y de Pony Malta.
- Tiempo de aseos de fin de semana para el área de Filtración.
- Tiempo de limpieza de la línea y el Carboblend entre filtraciones de Cerveza y Pony Malta.
- Porcentaje de merma en cada área.
- Porcentaje de dilución de Cerveza y Pony Malta en agua, en el Carboblend.
- Tiempo de reposo en los Tanques de Contrapresión.
- Tiempo de proceso de lavado de botellas en las líneas 1 y 2 de envase.
- Velocidad de las envasadoras en las dos líneas de envase.
- Capacidad de las lavadoras y las pasteurizadoras.

- Velocidad de las bandas transportadoras de envase en cada uno de los trayectos de las líneas.
- Tiempo de pasteurización del producto.
- Cantidad de botellas en proceso.

4.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Un sistema existente puede brindar grandes ventajas debido a que se puede contar con historial y experiencia en el personal que permita facilitar el proceso de recolección de información, sin embargo es fundamental que este sea desarrollado de manera sistemática. Las fuentes de información que se emplearon para la construcción del modelo de simulación son:

- Observación directa: La Cervecería de Bucaramanga cuenta con un sistema que permite visualizar en computadores los cambios en tiempo real de los componentes que hacen parte del sistema. Por ejemplo en la Sala de cocimientos se tienen 4 pantallas desde las cuales se visualizan y controlan las operaciones de todas las locaciones que la conforman.
- Entrevistas a personal capacitado: Esta fuente es utilizada para la verificación de los sistemas definidos por observación directa y/o para recolectar información de la cual no se lleve ningún registro. Por ejemplo el número de cocimientos que se realizan de Cerveza para luego cocinar Pony Malta. Este valor es variable y depende en gran parte del programa de producción que se tiene en el mes y de otras condiciones que alteren el sistema. Por experiencia el planeador de la producción puede suministrar este valor y calcular un promedio de cocimientos.
- Datos históricos: La Cervecería lleva un registro de datos en los distintos procesos que conforman el sistema cervecero. Por ejemplo, en el área de Filtración se tiene un libro con el histórico para variables como cantidades filtradas por cada ciclo de filtración, porcentaje de dilución de la Cerveza, Unitanque de origen, Tanque de

Contrapresión de destino, entre otras, las cuales satisfacen en gran medida las necesidades que se han planteado. Adicionalmente, se cuenta con un software que almacena todas las variables que se manejan en todas las áreas a través del tiempo.

- Documentos del sistema: consisten básicamente en los registros de procedimientos o protocolos para las actividades de todas las áreas productivas. La Cervecería cuenta con gran cantidad de registros en los que se explica detalladamente el proceso a llevar a cabo en cada una de las áreas, enfatizando los factores influyentes y las variables que se les debe llevar mayor control para el aseguramiento de la calidad.

4.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Teniendo identificados los requerimientos de información y contando con su disponibilidad dentro de las fuentes del sistema, el siguiente paso fue acudir a ellas y recolectar la información.

Al inicio de la recolección de la información, se comenzó desde los aspectos generales hasta llegar a los aspectos más específicos. La recolección de los datos continuó hasta el final del proyecto de simulación ya que la información que no estaba disponible al inicio del proyecto comenzaba a materializarse. La recolección de los datos siguió esta secuencia: Primero, definir el flujo general de la entidad y desarrollar una descripción de la operación y segundo, recolectar la información numérica

4.3.1. Recolección de la información referente al flujo del proceso

El flujo de las entidades está determinado por el movimiento de éstas a través del sistema que se ha definido. En otras palabras el flujo es la descripción lógica del producto a través del proceso cervecero¹⁴.

¹⁴ Ibid., Pág. 132

Para lograr ésta descripción, fue necesario acudir a las todas las áreas de producción y dar por iniciado el proceso de recolección de la información. Es así como en la Sala de cocimientos se realizó un seguimiento detallado a 4 cocimientos (389-08, 399-08, 434-08 y 435-08) desde el transporte de las materias primas hasta el envío del mosto al Uniproceto, con el objetivo de identificar todos los factores, variables, funciones y elementos que se controlan durante el flujo del proceso de la elaboración del mosto. Dos de estos cocimientos fueron consecutivos debido a que se quería conocer como afecta uno al otro, cuál es la dinámica que los rige y que tiempo los separa. Durante este proceso se contó con la asistencia del cocinero encargado que por medio de entrevistas continuas se pudo verificar y comprobar de forma completa ésta etapa. El registro de esos cocimientos se encuentra en el anexo L.

En el área de Uniproceto y Filtración, se recurrió a entrevistas con los ingenieros y operarios, los cuales realizaron una descripción de los eventos que allí ocurren y el flujo de los productos (Cerveza y Pony Malta) a través de éstas áreas, además, se pudo contar con material clasificado que explica de manera clara y detallada como es el manejo que se le da a todas las variables durante la transformación de mosto a Cerveza y su posterior filtración.

Para el área de Envase se utilizó la observación directa del sistema con la ayuda de los operarios del envase, ingenieros de línea encargados y el gerente del área, registrando los elementos que lo conforman y las operaciones que se realizan a los productos a lo largo de las dos líneas de envase.

4.3.2. Información numérica

Para la recolección de la información asociada a las cantidades y los tiempos de proceso fue necesario acudir a registros históricos que se llevan en cada una de las áreas. Respecto al área de Cocinas se pudo obtener un libro de registro de actividades, el cual describe la hora inicial, la hora final, las cantidades de malta y arroz, el tiempo de proceso en cada una de las ollas y la cantidad total enviada a Uniproceto para cada cocimiento. De esta información histórica se tomaron los valores registrados en la semana del 3 al 10 de marzo, obteniendo una muestra de 65 cocimientos, los cuales se consideran

suficientes para determinar el tipo de distribución asociada a cada tiempo y cantidad¹⁵. Adicionalmente se cumplió con el objetivo de tomar nota de cuantos cocimientos por semana puede producir el área de Cocinas, en que momento se hacen los aseos y/o mantenimientos y cual es su duración. El registro de todos tiempos y cantidades que maneja Cocinas se encuentra en el anexo L.

A diferencia del área de Cocinas, la información recolectada en Uniproceto se realizó con la ayuda de una herramienta tecnológica. Se trata de un software¹⁶ donde se encuentra el registro histórico de los últimos 60 días para cada uno de los 32 Unitanques, este programa es completamente interactivo y muestra gráficamente variables en función del tiempo como: temperatura en tres niveles diferentes del tanque, cantidad almacenada, extracto aparente, entre otras. Se definieron entonces las 5 etapas más importantes en las que se divide el Uniproceto: llenado del Unitanque, fermentación, enfriamiento, maduración y vaciado del Unitanque. Para todas estas etapas se registraron los respectivos tiempos para una muestra considerable de tanques.

El llenado del tanque se consideró desde el momento en que empieza a llegar el primer hectolitro de mosto hasta que ingrese el último hectolitro del cuarto o sexto cocimiento dependiendo del Unitanque elegido. El tiempo de fermentación inicia cuando se encuentre la totalidad del mosto en el Unitanque (tanque lleno) hasta que finalice la etapa del descanso de diacetilo (comienzo del enfriamiento). El tiempo de enfriamiento se tomó desde que finaliza la fermentación hasta que el mosto o Cerveza verde alcance una temperatura de 0°C, temperatura que está definida como el inicio de la maduración de la Cerveza dentro del Unitanque y cuya finalización es hasta que empieza el inicio de vaciado del tanque, y finalmente, el tiempo de vaciado es el momento en que sale el primer hectolitro del tanque, hasta que sale el último.

Para el proceso de propagación de la levadura, se tomó el tiempo que dura el proceso desde la existencia de los 55 HI en el tanque YPT2 hasta el envío del mosto fermentado saliente del Unitanque 25 al Unitanque de destino, usando también aquí, las facilidades

¹⁵ Para el cálculo de distribuciones de probabilidad se debe contar con un mínimo de 10 datos.

¹⁶ Software In touch, programado por industrias Ziemman

tecnológicas brindadas por la Cervecería. Los registros para el área de Uniproceto y Propagación de levadura se encuentran en el anexo M.

En el área de Filtración se utilizó la misma metodología de la Sala de cocimientos, acudiendo a los libros de registro que llevan los operarios de esa área. Dentro de ese formato se pudo identificar la cantidad de hectolitros filtrados diluidos en cada uno de los ciclos de filtración, el porcentaje de dilución utilizado para cada tipo de Cerveza o Pony Malta, además del Unitanque de origen y el Tanque de Contrapresión que tiene como destino.

Adicionalmente, se tomó una muestra para los ciclos de llenado de varios Tanques de Contrapresión, allí se muestran las cantidades en los Tanques de Contrapresión en función del tiempo. Con estos valores se pudo calcular el valor del flujo de Cerveza diluida entrante, siendo este el mismo flujo proveniente del Carboblend luego de la mezcla con agua. Así mismo se calculó el flujo saliente de los Tanques de Contrapresión que representa la absorción real de las líneas de envase.

Uno de los datos más importantes a tener en cuenta dentro de la construcción del modelo es el flujo de Cerveza concentrada con que trabaja el Filtro. El software del sistema de Carboblend permitió ver los valores que toma el flujo con respecto del tiempo incluyendo sus puntos máximos y mínimos, todo esto antes de que se lleve a cabo la dilución con agua. El registro para el área de Filtración se encuentra en el anexo N.

La recolección de la información del área de Envase se realizó principalmente por medio de entrevistas a los operarios e ingenieros de esta área. Adicionalmente, se tomó nota de las velocidades a las cuales trabajan las envasadoras y etiquetadoras (velocidades registradas en la pantalla de cada una de las máquinas). Por último, se contó con diferentes registros históricos referentes a las cantidades envasadas, tiempos perdidos y sus causas, porcentaje de merma y los lugares donde se produjo, porcentajes de rechazos y sus causas, entre otros valores.

4.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS NUMÉRICO Y LÓGICO DE LA INFORMACIÓN

La información recolectada de las distintas fuentes, fue tratada y analizada antes de comenzar la construcción del modelo. Para los tiempos recolectados en el área de Cocinas se asumió un comportamiento normal de los datos, con el fin de eliminar por medio de cuadros de control los valores que se encuentren por fuera de los límites. Se eliminaron aquellos puntos que estaban fuera de control, y a los cuales se les pudo encontrar una razón lógica para eliminarlos, reconociendo que estos representaban algún evento anormal. Para lo anterior fue necesario realizar entrevistas a los operarios de cada área y preguntar sobre las posibles causas que originaron la falla del sistema y la frecuencia con la que estas se presentaban. Esta operación también se realizó para los tiempos recolectados en el Uniproceso y para los ciclos de filtración.

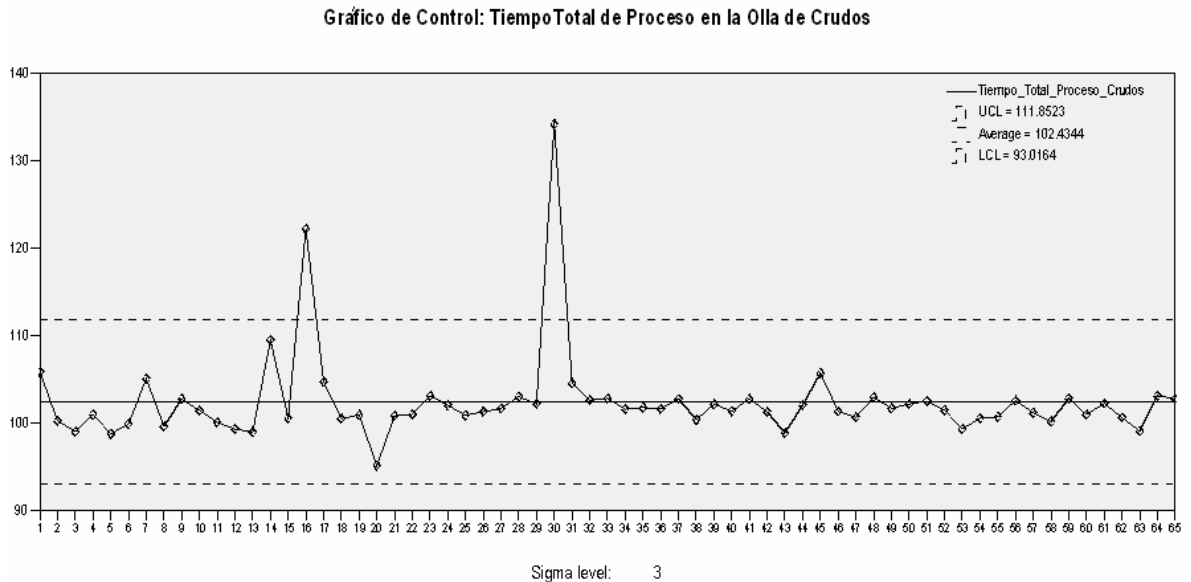
A manera de ejemplo se soporta lo anterior utilizando el tiempo del proceso llamado “Tiempo total de proceso en la olla de crudos”. Este registro, el cual se muestra en la tabla 1 y cuyo cuadro de control se muestra en la figura 19, corresponde a la suma de los tiempos de todas las operaciones que se realizan en la olla de crudos sin incluir el bombeo de la masa hacia la olla de mezclas.

Tabla 1. Tiempo total de proceso en la olla de crudos

| Cocimiento | Tiempo (min) | Cocimiento | Tiempo (min) | Cocimiento | Tiempo (min) |
|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| 427 | 105.89 | 453 | 103.14 | 475 | 105.72 |
| 428 | 100.27 | 454 | 102.06 | 476 | 101.38 |
| 429 | 99.05 | 455 | 100.9 | 477 | 100.7 |
| 430 | 100.98 | 456 | 101.31 | 478 | 102.97 |
| 431 | 98.8 | 457 | 101.69 | 479 | 101.7 |
| 432 | 99.92 | 458 | 103.04 | 480 | 102.21 |
| 433 | 105.07 | 459 | 102.23 | 481 | 102.54 |
| 434 | 99.63 | 460 | 134.18 | 482 | 101.49 |
| 435 | 102.77 | 461 | 104.56 | 483 | 99.33 |
| 436 | 101.45 | 462 | 102.64 | 484 | 100.56 |
| 437 | 100.09 | 463 | 102.84 | 485 | 100.74 |
| 438 | 99.35 | 464 | 101.61 | 486 | 102.59 |
| 439 | 98.98 | 465 | 101.79 | 487 | 101.19 |
| 440 | 109.5 | 466 | 101.63 | 488 | 100.19 |
| 441 | 100.59 | 467 | 102.785 | 489 | 102.84 |
| 442 | 122.19 | 468 | 100.42 | 490 | 100.98 |
| 443 | 104.73 | 469 | 102.17 | 491 | 102.27 |
| 444 | 100.52 | 470 | 101.38 | 492 | 100.65 |
| 445 | 100.95 | 471 | 102.76 | 493 | 99.1 |
| 450 | 95.16 | 472 | 101.3 | 494 | 103.14 |
| 451 | 100.84 | 473 | 98.89 | 495 | 102.79 |
| 452 | 101.02 | 474 | 102.08 | | |

Fuente: Los Autores

Figura 19. Gráfico de Control: Tiempo total de proceso en la olla de crudos



Fuente: Los Autores

Observando el gráfico de control en la Figura 19 se encuentran dos puntos fuera de los límites de control, en los cocimientos 442-08 y 460-08. Al indagar sobre la posible causa que originó esta alteración en los tiempos asociados a estos cocimientos, se encontró que para el primer cocimiento se presentó una falla en el suministro de vapor hacia la olla y para el segundo cocimiento, se presentó una falla ocasionada por el humedecimiento de la malta originando un taponamiento en el molino, haciendo que el tiempo de operación sobrepasara por los límites. Estos eventos son poco habituales en el sistema y por tanto se considera pertinente su exclusión para los siguientes análisis estadísticos a realizar. Los gráficos de control para cada uno de los procesos se encuentran en el anexo O.

En los registros de todas las áreas se adicionaron formatos condicionales que señalan aquellos valores que se encuentran fuera de los límites y a los cuales se les debe aplicar la misma metodología y así evitar insertar datos en el modelo que generen resultados erróneos.

En el área de Envase el tratamiento de la información fue distinto. Las máquinas envasadoras trabajan a una razón constante y ésta se muestra en sus pantallas, por ejemplo: la envasadora 1 de la línea de envase 2 trabaja a una razón de 660

botellas/minuto y la envasadora 2 a una rata de 588 botellas/minuto, al sumar las dos envasadoras da como resultado 1248 botellas/minuto y considerando que cada botella que se envasa contiene un volumen de 330 ml, se puede concluir que las dos envasadoras de la línea de envase 2 trabajan a una velocidad total instalada de 247 HI/h. Así como las envasadoras, las demás máquinas trabajan a una razón constante y éstas capacidades se muestran en la tabla 2¹⁷.

Tabla 2. Capacidades de las máquinas en las dos líneas de envase

| Máquinas | Capacidad (HI/h) | |
|------------------|------------------|----------------|
| | Linea Envase 1 | Linea Envase 2 |
| Depaletizadora | 210 | 276.5 |
| Desencanastadora | 169 | 285 |
| Lavadora | 138.7 | 277 |
| Envasadoras | 130.3 | 247 |
| Pasteurizadora | 135 | 320 |
| Etiquetadoras | - | 287 |
| Encanastadora | 157 | 267 |
| Paletizadora | 204 | 263 |

Fuente: Los Autores

La capacidad para las etiquetadoras de la línea de envase 1 no es necesaria tenerla en cuenta debido a que en la actualidad solo se envasa Costeñita y ésta no tiene etiqueta.

Para la construcción del modelo de simulación se consideró la unidad “Hectolitros” como aquella que representa todas las entidades que circulan por el modelo, concluyéndose con: 1 HI de mosto, 1 HI Cerveza, 1 HI Pony Malta, 1 HI en botellas, 1 HI en canastas y 1 HI en estibas.

La decisión de considerar la unidad HI como la unidad representativa de todas las entidades se tomó por una razón importante. El software que se utilizó, el cual se encuentra descrito en el numeral 5.1.1 es un software que trabaja con unidades enteras, por lo tanto se buscó una unidad que no se tuviera que dividir en otra unidad inferior, generando valores reales y esta unidad a su vez pudiera ser valida a través de todo el

¹⁷ La capacidad para las etiquetadoras de la línea de envase 1 no es necesaria tenerla en cuenta debido a que en la actualidad solo se envasa Costeñita y esta no tiene etiqueta.

proceso. La unidad tampoco debe ser muy pequeña debido a que aumentaría el número de entidades que fluyen en el modelo, disminuyendo así la efectividad del simulador. Hectolitros es por lo tanto la unidad que contiene todas las anteriores características.

Todas las unidades diferentes a hectolitros que hacen parte del sistema real (Kilogramos, botellas, canastas y estibas) tuvieron que ser transformadas a Hectolitros, antes de comenzar la programación del modelo. La unidad Kilogramos se encuentra en la cantidad tanto de arroz como de malta utilizada para cada cocimiento y que es adicionada a la olla de crudos y de mezclas. Las botellas, canastas y estibas son utilizadas para el funcionamiento del área de embotellado.

La transformación de kilogramos a hectolitros, se realizó de la siguiente manera:

Sabiendo que la proporción de arroz, malta y agua es la misma para todos los cocimientos, se tuvo en cuenta el cocimiento 434 de marzo 04 del 2008 para la conversión de la unidad Kg a Hl. A este cocimiento se le realizó un seguimiento especial el cual fue explicado en el capítulo 4.3.1.

En el registro de este cocimiento (anexos L) se encuentran cuantificadas las entradas de materias primas a cada una de las ollas con la correspondiente cantidad saliente hacia los procesos subsiguientes. Las cantidades que manejan las ollas de crudos y de mezclas se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3. Cantidades entrantes y salientes para el cocimiento 434 en las ollas de crudos y de mezclas

| COCIMIENTO | CANTIDAD ENTRANTE A OLLA DE CRUDOS | | | CANTIDAD SALIENTE DE OLLA DE CRUDOS | CANTIDAD ENTRANTE A OLLA DE MEZCLAS | | | CANTIDAD SALIENTE DE OLLA DE MEZCLAS |
|-------------------|------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| | AGUA (Hl) | ARROZ (Kg) | MALTA (Kg) | MASA (Hl) | MALTA (Kg) | AGUA (Hl) | MASA (Hl) | MASA (Hl) |
| 434 - 04 MAR / 08 | 93 | 1980 | 334 | 112 | 6201 | 201 | 112 | 362 |

Fuente: Los Autores

Tomando los datos de la olla de crudos, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{AGUA (HI)} + \text{ARROZ (kg)} + \text{MALTA (Kg)} &= \text{MASA (HI)} \\ \text{Ó } \text{MASA (HI)} - \text{AGUA (HI)} &= \text{ARROZ (kg)} + \text{MALTA (kg)} \\ \text{Pero } \text{MASA (HI)} - \text{AGUA (HI)} &= 19 \text{ HI} \\ \text{Entonces, } \text{ARROZ (HI)} + \text{MALTA (HI)} &= 19 \text{ HI} \\ \text{Donde, } \text{ARROZ (Kg)} + \text{MALTA (Kg)} &= 2314 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Es decir que de los 2314 Kg, el 86% corresponde al arroz y el 14% a la malta. Por lo tanto, de los 19 HI, 16.34 HI son de arroz y 2.66 HI son de malta. El mismo proceso se realizó para las cantidades manejadas en la olla de mezclas y así se convirtió las cantidades de Kilogramos a Hectolitros.

La conversión de unidades botellas, estibas y canastas a HI se realizó partiendo desde la cantidad contenida en una botella. Una botella de la línea de envase 1 (Costeñita) es de 175 ml y 1 HI corresponde a 100.000 ml, es decir que 1 HI de Cerveza necesita de 571 botellas de Costeñita y una botella de la línea de envase 2 (Águila) es de 330 ml, por lo tanto, se necesitan 303 botellas de Águila para envasar 1 HI.

Así mismo, una canasta de Costeñita contiene 42 botellas y una estiba de Costeñita contiene 54 canastas. Una canasta de Águila contiene 30 botellas y una estiba de Águila contiene 45 canastas. Es decir, 1 HI de Cerveza se puede encontrar en 13.6 canastas de Costeñita, 1 estiba de Costeñita lleva 3.97 HI de Cerveza, 1 HI de Águila se almacena en 10.1 canastas y 4.45 HI se necesitan para llenar una estiba de Águila. El resumen de estos datos se encuentra en la tabla 4.

Tabla 4. Conversión de unidades en el área de Envase

| | Línea de Envase 1 | Línea de envase 2 |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 HI = | 571 Botellas | 330 botellas |
| | 13.6 Canastas | 10.1 Canastas |
| | 0.252 Estibas | 0.224 Estibas |

Fuente: Los Autores

Adicionalmente, para calcular la cantidad de producto en proceso en cada una de las líneas de envase se tomaron las medidas de las bandas transportadoras entre máquina y máquina y se tuvo en cuenta la cantidad de botellas que caben en cada una de las máquinas. Teniendo en cuenta el área de superficie de la botella, se pudo calcular la cantidad de botellas en transporte para después convertir el número de botellas en hectolitros, siendo ésta la unidad de interés. Por ejemplo, se pudo concluir que hay cerca de 22 HI en botellas entre la desencanastadora y la lavadora de la línea de envase 2. Todos los resultados de los cálculos del área de Envase se encuentran incluidos los anexos P y Q (diagrama de capacidades, para las líneas de envase 1 y 2, respectivamente).

4.5. ANÁLISIS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Los datos recolectados en la fase anterior deben ser analizados e interpretados, de tal manera que se garantice que el funcionamiento del sistema esté correctamente representado en el modelo de simulación. Este análisis conlleva a elegir la mejor manera de introducir los datos que van a alimentar al modelo dentro de las distintas opciones que se tiene. La información que se ha recolectado (tiempos de ocupación, cantidades procesadas, etc.) pueden ser representadas en un modelo de simulación de tres distintas maneras: utilizar de manera exacta los datos que se registraron, utilizar una distribución empírica que caracterice los datos y/o seleccionar dentro de una lista de distribuciones de probabilidad la que mejor se ajuste a los datos.

La utilización de datos de forma exacta a la cual se registraron, es un procedimiento sencillo, pero ocasionalmente problemático. Durante la simulación los datos se leen directamente del archivo en el que se encuentren y en el mismo orden en el que fueron recolectados. El problema con esta técnica consiste en que el conjunto de datos no suele ser lo suficientemente grande como para representar a la población¹⁸. Es decir, al utilizar este método se incurriría en el error de afirmar que en todo momento el sistema general va a generar de forma repetitiva exactamente los mismos datos que se han recolectado

¹⁸ HARREL, Charles y GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce, Op. Cit., Pág 144

sin incluir la posibilidad que aparezca algún otro valor para un parámetro que se este considerando.

Alimentar el modelo usando una distribución empírica requiere que los datos que fueron recolectados sean convertidos a una distribución continua o discreta de frecuencias. Una distribución continua de frecuencias resume el número de valores en porcentaje que caen dentro de un determinado intervalo, los cuales no necesariamente deben tener la misma amplitud. Una distribución discreta de frecuencias muestra el número de veces en porcentaje que un determinado valor se produce. Durante la simulación se generan continuamente datos de manera aleatoria, utilizando la distribución empírica sobre la base de los datos agrupados. Los inconvenientes que se pueden presentar al utilizar una distribución empírica como aporte a una simulación son de dos tipos: en primer lugar, un insuficiente tamaño de muestra de los datos recolectados, puede ocasionar un sesgo a la distribución y por ende afecte la representación de del sistema en el modelo. En segundo lugar, las distribuciones empíricas que se crean sobre la base de un limitado de tamaño de muestra, no generan valores extremos, aunque estos, es posible que si se encuentren dentro de la población de datos que conforma el sistema real. Generalmente las distribuciones empíricas son utilizadas dentro de un modelo de simulación, cuando los datos se presentan de forma irregular y no es posible que encajen dentro de una distribución de probabilidad.

Para la representación de los datos en el modelo, mediante una distribución de probabilidad, es necesario definir a que tipo de distribución se acoplan los datos que se han recolectado. Durante la simulación se generan datos a partir de una distribución de probabilidad, los cuales tienen como objetivo proporcionar a la simulación la aleatoriedad suficiente. Los datos son ajustados a la distribución de probabilidad permitiendo así una suavización a las irregularidades de los valores, y asegurando que los datos extremos estén incluidos. Es por esto, que es recomendable utilizar distribuciones de probabilidad, siempre y cuando los datos se ajusten a una de ellas.

Los software de simulación más conocidos incluyen una herramienta que permite al analista ajustar los datos recolectados a una distribución de probabilidad dentro de una

lista predefinida. No contar con una herramienta como ésta para encontrar la mejor distribución que se ajuste a la muestra de datos puede ser una tarea bastante compleja. El proceso de ajuste de los datos a una distribución de probabilidad consta de tres pasos: El primer paso consiste en conformar una lista de distribuciones de probabilidad que se podrían ajustar al comportamiento de los datos descritos en un histograma. El segundo paso consiste en definir los parámetros que se desean estimar para cada una de las distribuciones seleccionadas. Y finalmente el tercer paso consiste en realizar las pruebas de bondad y ajuste para así determinar cual distribución tiene un comportamiento aceptable respecto al que presenta los datos.

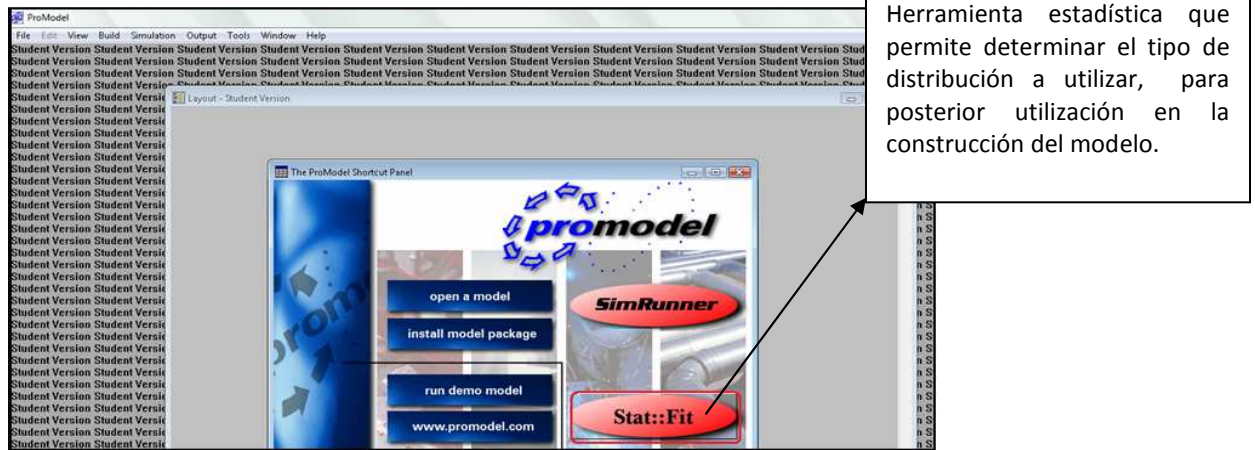
Para el análisis estadístico de los datos históricos obtenidos de la recolección de la información, se utilizó el programa stat-fit de PROMODEL, el cual permite analizar las diferentes distribuciones de probabilidad y determinar la que más se ajusta a los datos encontrados. Este programa, arroja como resultado las distribuciones de probabilidad de acuerdo al comportamiento de los datos realizando pruebas de independencia, continuidad y de bondad y ajuste entre las que se encuentran la prueba de Chi², la prueba de Kolmogorov Smirnov, y la prueba de Anderson Darling.

Cada una de las pruebas de bondad y ajuste, inicia con la hipótesis nula que afirma que existe un buen ajuste entre los datos recolectados y los datos generados por la distribución seleccionada.

El proceso de selección de la distribución que más se ajusta a los datos se realizó teniendo en cuenta un listado que arroja el programa, en donde se listan las distintas distribuciones de probabilidad que pueden ajustarse a los datos, presentándose en orden descendente de acuerdo al ajuste de la distribución con los datos. Para la construcción del modelo se tuvo en cuenta la primera distribución que aparece en esta lista, es decir la que tiene un mayor puntaje en relación con el ajuste de los datos.

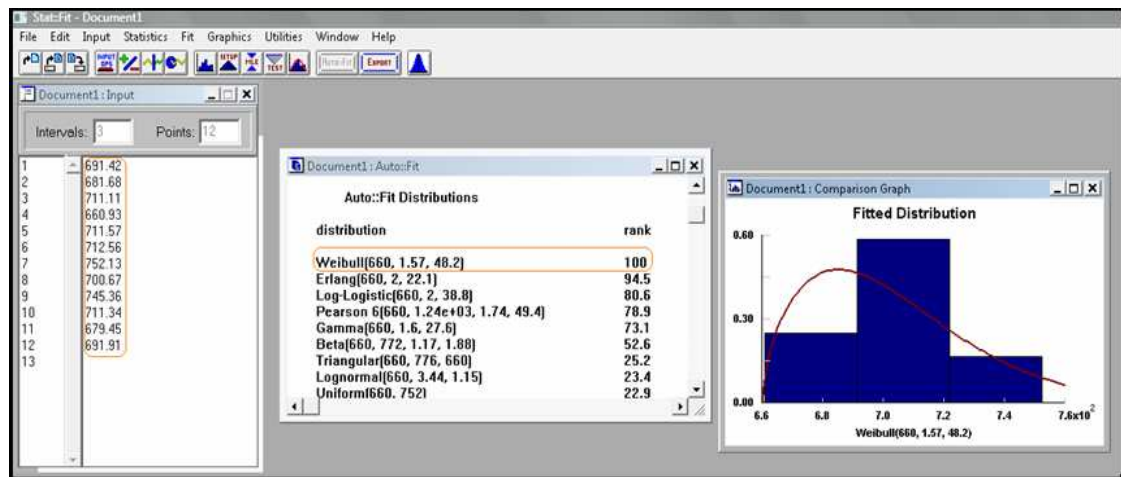
En la figura 20 se presenta la vista de entrada para la herramienta stat-fit y en la figura 21 se muestra un ejemplo de cómo funciona el programa y los diferentes resultados que arroja para determinar las distribuciones probabilísticas para cada uno de los datos tomados del proceso productivo.

Figura 20. Vista de inicio de software PROMODEL



Fuente: Stat Fit, PROMODEL

Figura 21. Vista de un ejemplo usando la herramienta STAT-FIT



Fuente: Stat Fit, PROMODEL

En el registro de los datos para cada área (anexos L, M y N) se pueden observar las diferentes distribuciones encontradas para cada uno de los tiempos y cantidades de proceso.

4.6. MODELO CONCEPTUAL

Luego de haber definido el sistema y recolectado la mayor parte de la información necesaria, se debe tener como resultado un modelo conceptual. El modelo conceptual es el resultado de la recopilación de datos logrando formular en la mente del modelador (apoyándose en notas o diagramas de flujo y de proceso) la manera en la que un sistema opera. Es decir, el modelo conceptual debe brindar al modelador la visualización clara y precisa de los elementos que hay que tener en cuenta para la construcción del modelo computacional¹⁹.

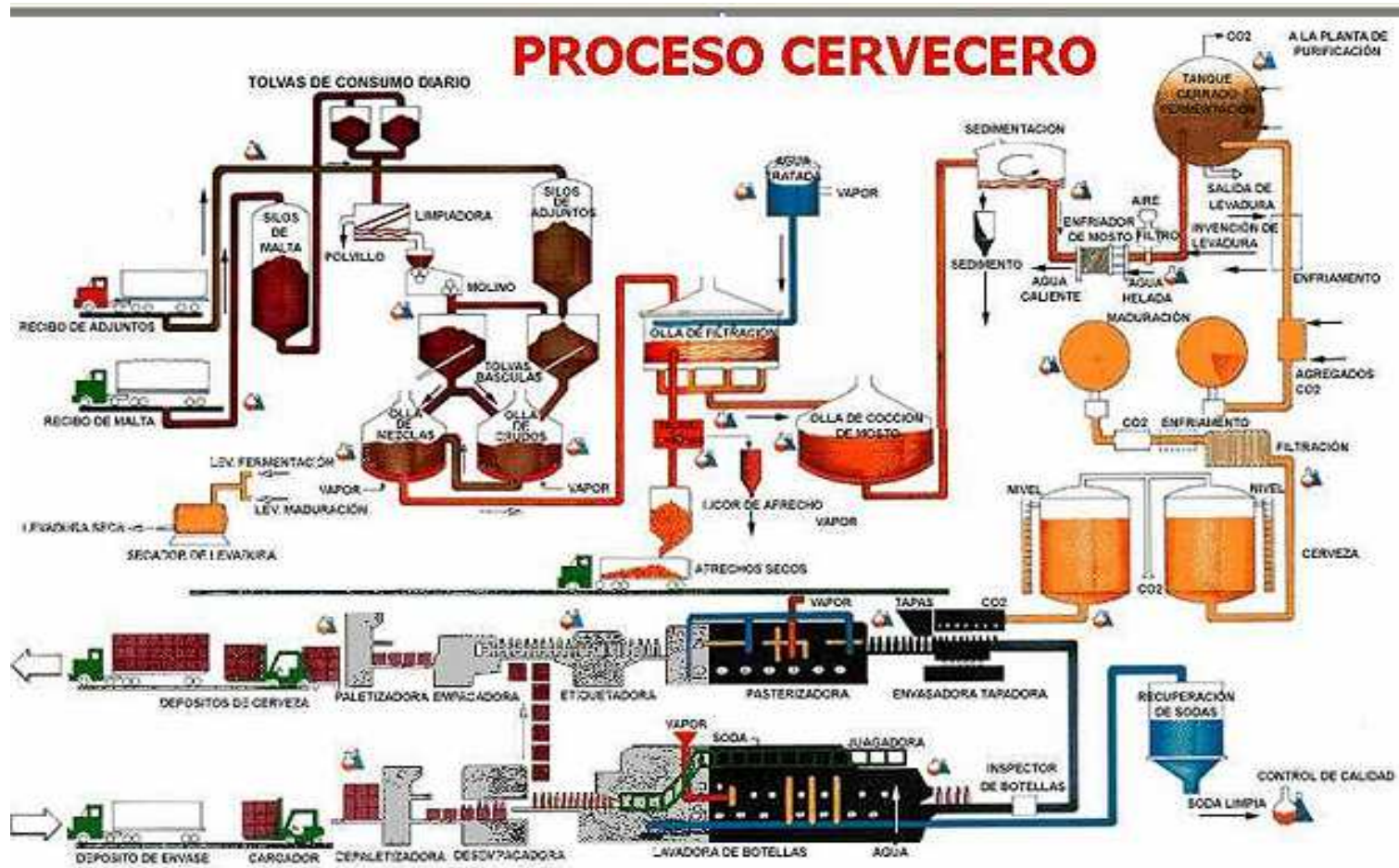
Una de las opciones que se tiene para la resolución de problemas es el planteamiento de un modelo matemático a partir de un modelo conceptual previamente definido. Un modelo matemático es aquel que emplea algún tipo de artificio o formulismo numérico para expresar variables, entidades, y las relaciones o interacciones que existen entre los elementos de un sistema para así facilitar su estudio y comprensión.

En el capítulo 3 se ha descrito de manera sistemática, una representación del proceso cervecero en la Cervecería Bavaria Sab-Miller de Bucaramanga. Ahí se evidencia la complejidad de este sistema, debido a la gran cantidad de interrelaciones y dependencias que se tienen entre los elementos de un subsistema y entre ellos mismos.

En la figura 22 se muestra una representación gráfica del modelo conceptual, el cual involucra los distintos elementos y entidades con que cuenta el sistema descrito en el capítulo 3. Aunque esta figura reduce de gran manera el proceso anteriormente descrito, allí se puede observar el grado de complejidad y el número de interdependencias que se tienen entre los elementos de este proceso. Se ha decidido entonces construir a partir del modelo conceptual, un modelo computacional, el cual permita definir el gran número de elementos y variables que se deben tener en cuenta para la representación de este sistema.

¹⁹ Ibid., Pág 172

Figura 22. Representación gráfica del modelo conceptual



Fuente: Documentos internos de Bavaria

5. CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO

Llevar el modelo conceptual a un modelo de simulación que represente en forma real las operaciones que ocurren en el sistema es el objeto en esta etapa del proyecto. Para construir el modelo de simulación, además de la necesidad de manejar hábilmente el software seleccionado, es necesario conocer a fondo el proceso, es por esto, que la definición del sistema, los objetivos y el alcance del modelo tienen que estar claros.

5.1. CONVERSIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL A UN MODELO DE SIMULACIÓN

Para la construcción del modelo de simulación se utilizó como herramienta el software PROMODEL, uno de los más versátiles y fáciles de manejar en el mercado actualmente.

5.1.1 Software PROMODEL

PROMODEL es un software especializado en simulación para evaluar, planificar o rediseñar procesos logísticos y de manufactura. Esta herramienta permite construir una representación computacional del funcionamiento de cualquier empresa, para luego evaluar diferentes escenarios de configuración y garantizar la mejor solución.²⁰

Al ser un simulador de eventos discretos, PROMODEL está concebido para modelar sistemas de manufactura discreta (unidad por unidad), sin embargo, muchos sistemas de manufactura continua pueden ser modelados convirtiendo unidades a granel en unidades discretas tales como galones o barriles.

Para crear un modelo de simulación, PROMODEL está compuesto por distintas opciones que tienen a su vez módulos con funciones específicas. Estos módulos son clasificados dentro de los elementos estructurales (locaciones, entidades, recursos y recorridos) o los

²⁰ PROMODEL Corporation. Definición Software PROMODEL [en línea]. s.f. [citado 4 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <URL: http://www.simulart.cl/software_PROMODEL.htm >

elementos operacionales (rutas, operaciones, llegadas, tiempos de reparación o mantenimientos y movimiento conjunto de entidades y recursos)²¹.

5.1.2. Elementos estructurales

a. Locaciones

Las locaciones son los lugares en el sistema donde las entidades son procesadas o almacenadas. Una zona de trabajo, una fila o banda transportadora, estación, o un almacén pueden ser locaciones y deben trabajar bajo la capacidad de manejo definido²². Si se trata de una banda transportadora es importante definir su velocidad y dimensiones, de manera que éstas sean compatibles con las entidades que allí son transportadas. Para la construcción del modelo de simulación fue necesario considerar 158 locaciones y éstas se presentan a continuación:

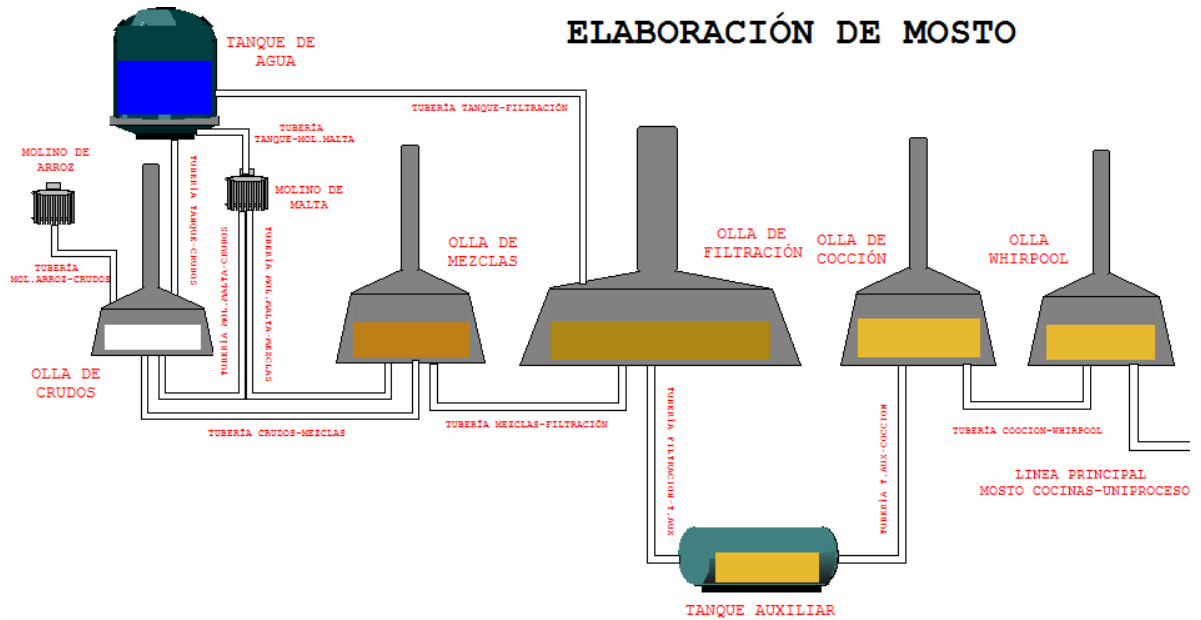
- Locaciones en Elaboración de mosto: Se tuvo en cuenta principalmente las 5 ollas donde se llevan a cabo los procesos explicados en el capítulo 3, los dos molinos, el tanque auxiliar que conecta a la olla de filtración y la olla de cocción, el tanque de agua y las tuberías que conectan todas las anteriores locaciones. El diseño de las locaciones para el modelo se puede observar en la figura 23.
- Locaciones en Uniproceso: El área de Uniproceso está conformada por 24 tanques con capacidad de 4 cocimientos, un tanque (Unitanque 25) con capacidad de 1 cocimiento, 7 tanques con capacidad de 6 cocimientos y las dos líneas que comunican al Uniproceso con Cocinas y con filtración. La figura 24 muestra de manera resumida las locaciones ubicadas dentro del modelo computacional para el área de Uniproceso.

²¹ Instituto Tecnológico de Hermosillo. Manual usuario PROMODEL. [en línea]. s.f. [citado 4 de febrero de 2008]. Disponible en Internet

URL:www.industrial.ith.mx/Apuntes/reticula%20anterior/Manual%20PROMODEL.DOC >

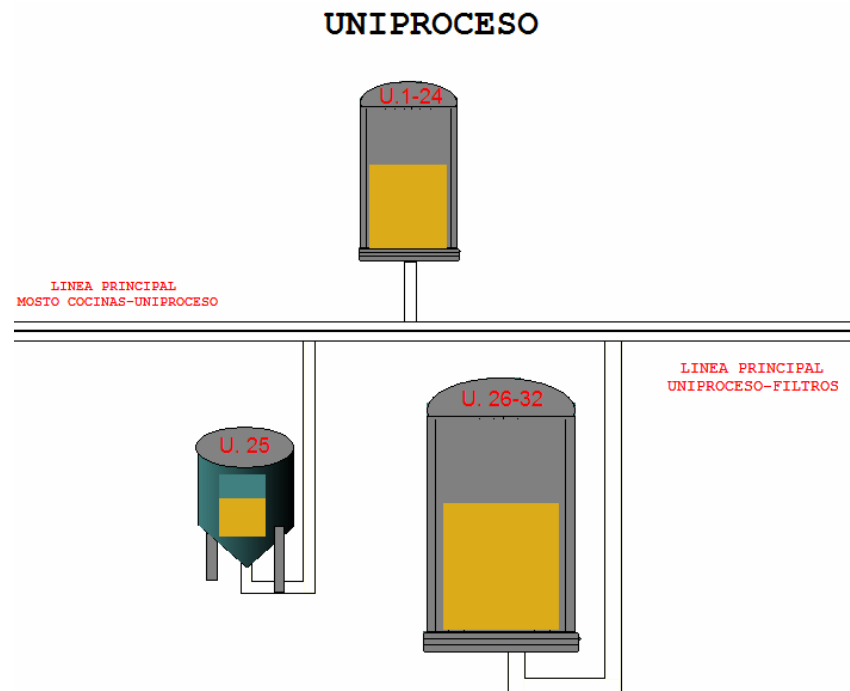
²² HARREL, Charles y GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce, Op. Cit., Pág 177

Figura 23. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Cocinas



Fuente: Los Autores

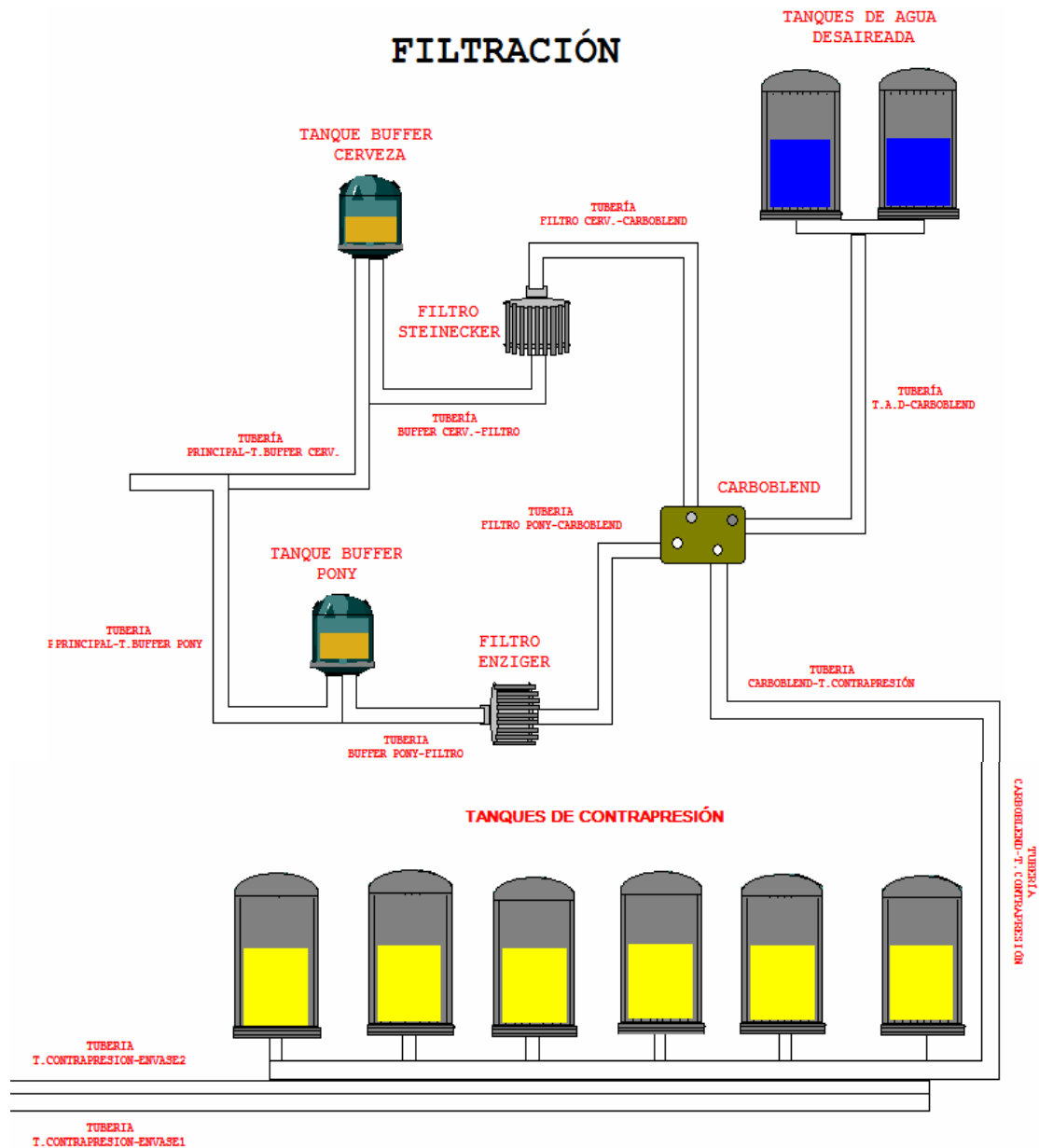
Figura 24. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Uniprocreso



Fuente: Los Autores

- Locaciones en Filtración: El área de Filtración en el modelo computacional está conformada por los dos Filtros, con sus respectivos tanques buffer, los dos tanques de agua desaireada, el sistema de mezcla o Carboblend, los 6 BBT's, las líneas que comunican todas estas locaciones y las dos líneas de envío del producto a las 2 líneas de envase. Las locaciones del área de Filtración se pueden detallar en la figura 25.

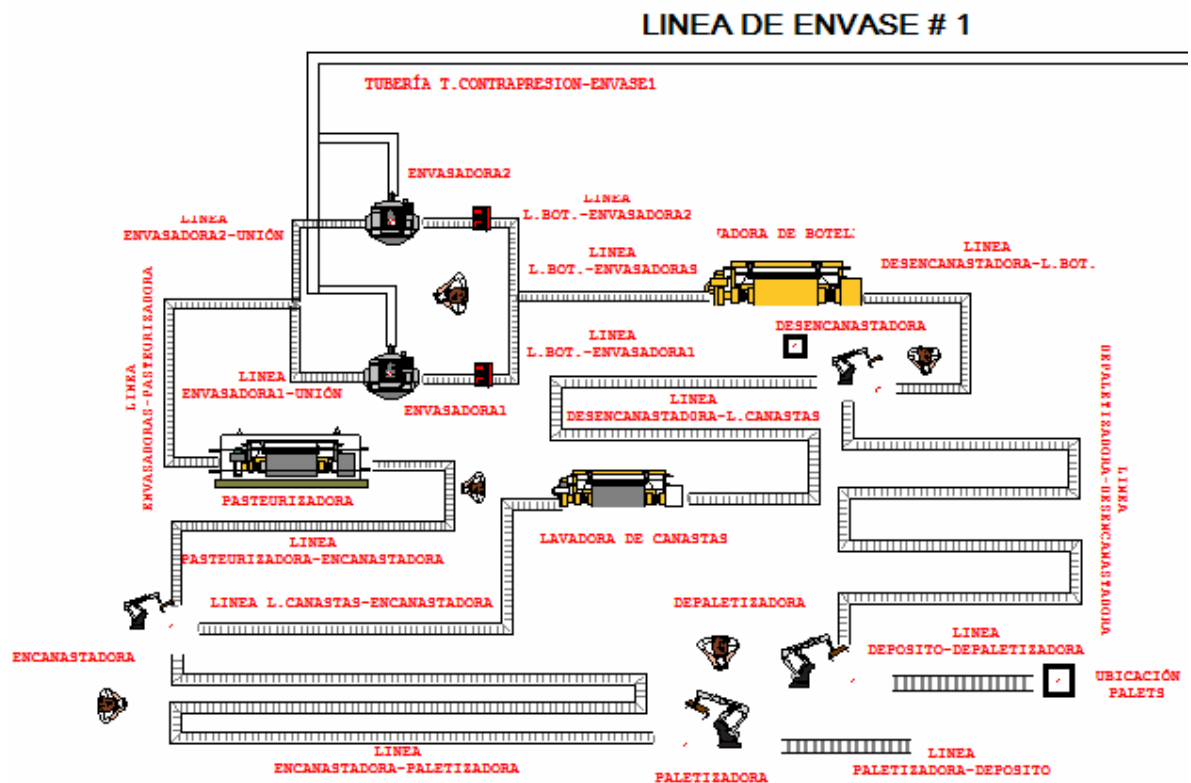
Figura 25. Locaciones en el modelo de simulación para el área de Filtración



Fuente: Los Autores

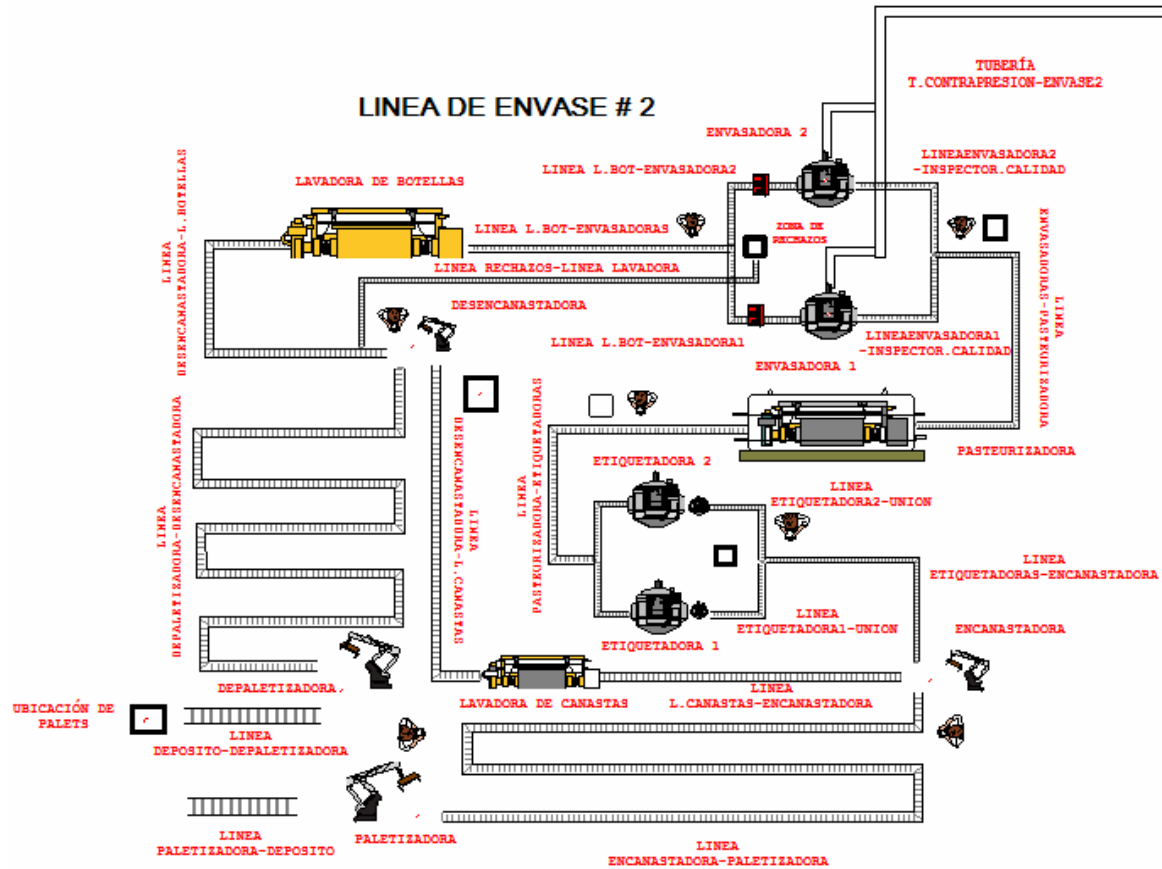
- Locaciones en Envase: El área de Envase está conformada básicamente en todas las máquinas que trabajan en sus dos líneas, diferentes secciones para rechazos de botella y las bandas transportadoras que comunican y abastecen todas las locaciones. Las locaciones para la línea de envase 1 y la línea de envase 2 se pueden observar en la figura 26 y la figura 27, respectivamente.

Figura 26. Locaciones en el modelo de simulación para la línea de envase 1



Fuente: Los Autores

Figura 27. Locaciones en el modelo de simulación para la línea de envase 2



Fuente: Los Autores

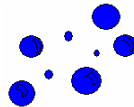
b. Entidades

Las entidades son los elementos procesados a través del sistema y representan las entradas y las salidas del mismo. Estas entidades trabajan con características especiales como velocidad y tamaño²³. Las entidades siguen rutinas en las que se hacen pasar por las diferentes áreas de proceso, éstas pueden ser traídas de afuera del sistema o ser creadas dentro del mismo y al cumplir su ciclo son enviadas fuera de los límites del sistema. Las estadísticas recolectadas para las entidades luego de la simulación incluyen: tiempo en el sistema, cantidad de entidades procesadas, tiempo esperando para servicio y promedio de entidades en el proceso. Las entidades trabajadas dentro del modelo de simulación son:

²³ Ibid., Pág. 175

- AGUA: Es una entidad que llega de afuera del sistema a los tanques de agua desaireada en un intervalo de tiempo definido. La entidad AGUA llega a los tanques y pasa por una tubería hasta llegar al Carboblend donde por medio de la operación (dilución), se transformará en otra entidad; CERVEZA o PONY, según sea el caso. Una entidad AGUA representa 1 HI de agua del sistema real. La figura 28 muestra la representación de la entidad agua dentro del modelo de simulación.

Figura 28. Representación en el modelo de simulación de la entidad AGUA



Fuente: Los Autores

- MOSTO: Entidad que desde el tanque de agua en el área de Cocinas es procesada hasta el Uniprocso donde se transformará en otra entidad sea PONY o CERVEZA, dependiendo de su atributo inicial: MARCA. La entidad MOSTO representa a 1 HI de mosto.
- MOSTO_GRUPO: Esta entidad consiste en la agrupación de varias entidades MOSTO, proceso que se lleva a cabo dentro del tanque de agua, en grupos son transportadas a los diferentes destinos. En la figura 29, se observa que la entidad MOSTO o la entidad MOSTO_GRUPO pueden tomar diferentes colores dependiendo del proceso que se lleve a cabo y la locación. Ejemplo, la entidad entrante a la olla de crudos proveniente del molino de arroz toma el color blanco, representando a la cantidad de arroz triturado.

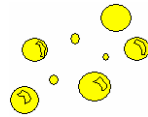
Figura 29. Representaciones en el modelo de simulación de las entidades MOSTO y MOSTO_GRUPO



Fuente: Los Autores

- CERVEZA: La entidad CERVEZA es la representación de 1 HI de Cerveza y viene de la transformación de la entidad MOSTO con atributo: MARCA=1 en el Uniproceto. La entidad CERVEZA sale del Unitanque, pasa por Filtración, Tanques de Contrapresión, hasta llegar a las líneas de envase, donde se une con una entidad llamada BOTELLAS_HL. La figura 30 muestra la representación de CERVEZA en el modelo.

Figura 30. Representación en el modelo de simulación de la entidad CERVEZA



Fuente: Los Autores

- PONY: Es la transformación de la entidad mosto con atributo MARCA=2 en el Uniproceto. Esta entidad sigue la misma ruta que la entidad CERVEZA, exceptuando su envío al envase, puesto que PONY solo es guiada hacia la línea de envase 2. La representación de la entidad PONY en el modelo se puede observar en la figura 31.

Figura 31. Representación en el modelo de simulación de la entidad PONY



Fuente: Los Autores

- PALET: Esta es la entidad con menor participación dentro del modelo. Un PALET llega del Depósito (afuera del sistema) hacia la depaletizadora donde se convierte en la entidad CANASTA_LLENA. Luego de todo el proceso en el envase, llega una CANASTA_LLENA a la Paletizadora y se transforma de nuevo en PALET y es enviado afuera del sistema nuevamente. Un PALET representa a 1 HI de producto transportado en estibas. El PALET se representa dentro del modelo como se muestra en la figura 32.

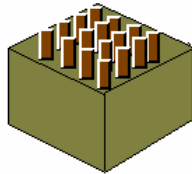
Figura 32. Representación en el modelo de simulación de la entidad PALET



Fuente: Los Autores

- **CANASTA_LLENA:** Esta entidad representa a 1 HI de producto transportado en canastas y se puede encontrar entre las máquinas depaletizadora-desencanastadora o encanastadora-paletizadora. Una **CANASTA_LLENA** al llegar a la locación desencanastadora se convierte en dos entidades diferentes: **CANASTA_VACIA** y **BOTELLAS_HL**. Una **CANASTA_LLENA** se puede ver en la figura 33.

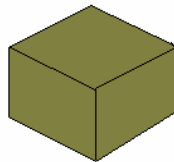
Figura 33. Representación en el modelo de simulación de la entidad CANASTA_LLENA



Fuente: Los Autores

- **CANASTA_VACIA:** Esta entidad entra en acción en la desencanastadora, pasa por la Lavadora de canastas hasta llegar a la encanastadora donde se une con la entidad **BOTELLAS_HL** y forman la entidad **CANASTA_LLENA**. La entidad **CANASTA_VACIA** se muestra en la figura 34.

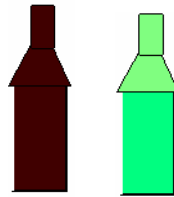
Figura 34. Representación en el modelo de simulación de la entidad CANASTA_VACIA



Fuente: Los Autores

- BOTELLAS_HL: La entidad BOTELLAS_HL representan 1 HI de producto en botellas, es decir, 303 botellas de envase 330 ml del sistema real están representadas en 1 entidad BOTELLAS_HL en el modelo de simulación y 571 botellas de envase 175 ml del sistema real están representadas en 1 entidad BOTELLAS_HL en el modelo de simulación. El color de la entidad BOTELLAS_HL depende de la línea de envase donde se encuentre. Si la entidad se encuentra en la línea de envase 1 toma el color verde, representando a las botellas de Costeñita, de lo contrario, toma el color marrón, representando el envase de Águila y Pony Malta (ver figura 35).

Figura 35. Representación en el modelo de simulación de la entidad BOTELLAS_HL



Fuente: Los Autores

c. Recursos

Los recursos son agentes usados para el proceso de las entidades en el sistema. Estos recursos pueden ser estáticos o dinámicos, según las operaciones requeridas. A diferencia de las entidades, los recursos no tienen un proceso definido y deben permanecer todo el tiempo entre los límites del sistema²⁴. Un operario, montacargas o inspector pueden cumplir las funciones de recursos.

Dentro del presente modelo de simulación no fue necesario considerar recursos. Las locaciones pueden llevar a cabo las operaciones sin la ayuda de recursos, decisión que principalmente se debe al alto grado de automatización de la planta, en el que los recursos de las áreas contenidas en el sistema a simular no tienen contacto directo con el producto.

²⁴ Ibid., Pág. 179

d. Recorridos

Los recorridos son básicamente los caminos de viaje para el movimiento de los recursos del sistema. Por estos recorridos transitan los recursos y el objetivo de su existencia es poder conectar diferentes locaciones como un camino por el cual las entidades pueden moverse con la ayuda de los recursos.

Debido a que no fueron programados recursos dentro de la construcción del modelo, la instalación de recorridos no fue necesaria.

5.1.3. Elementos operacionales

Los elementos operacionales definen el comportamiento de los elementos estructurales y cómo ellos interactúan entre sí. Entre los elementos operacionales se encuentran: rutas, operaciones, llegadas, tiempos de reparación o mantenimientos, movimiento de entidades y movimiento de recursos²⁵.

a. Rutas

Las rutas definen la secuencia y el flujo de las entidades de locación a locación. Cuando termina el tiempo de operación en cierta locación la ruta define el destino de la entidad según el criterio de selección entre múltiples locaciones posibles.

En el modelo de simulación se definieron más de 250 rutas de destino para las diferentes entidades, las cuales se pueden observar dentro de la programación (anexo X).

b. Operaciones

Las operaciones definen lo que sucede cuando una entidad entra a una locación. Dentro de los propósitos del modelo, mostrar la acción que se lleva a cabo dentro de las locaciones no es importante, lo esencial es saber lo que ocurre en términos de tiempo

²⁵ Ibid., Pág. 182

requerido, recursos utilizados u otra lógica que tenga impacto en el rendimiento del sistema.

Para la programación del modelo fue necesario contar 197 operaciones las cuales son apoyadas por 295 variables a través de todo el sistema. En el anexo R se puede observar una breve descripción de las variables más importantes utilizadas dentro del modelo de simulación. Las variables son usadas principalmente para la toma de decisiones o para calcular estadísticas, sin embargo, en el presente trabajo, gran cantidad de variables fueron creadas para muchos otros propósitos, por ejemplo, hay variables que cumplen la función de válvulas de control, las cuales tomaban cierto valor para permitir el flujo de entidades y otro para detenerlo.

La programación de las operaciones es la mayor parte de la construcción del modelo de simulación y es de vital importancia para la obtención de los objetivos del proyecto. Aquí se define el donde, el porque, el cuando y el como de lo que sucede mientras se corre el modelo de simulación. La programación de las operaciones se encuentra en el anexo X.

c. Llegadas

En las llegadas de las entidades se define el tiempo, la cantidad, frecuencia y locación de las entidades entrantes al sistema.

En el presente modelo se programaron dos llegadas para las entidades: MOSTO y AGUA. 1 HI de MOSTO llega al tanque de agua con una frecuencia de 70 minutos. De una manera similar 1 HI de AGUA llega a los tanques de agua desaireada con una frecuencia de 100 minutos. Las entidades al llegar al tanque correspondiente y si éste se encuentra relativamente vacío, se tiene incluido dentro de la programación que se ordenen más entidades de afuera del sistema para llenar los tanques hasta cierto nivel.

d. Tiempos de reparación o mantenimientos

Son tiempos en los cuales las locaciones o recursos no se encuentran disponibles para proceso de entidades debido a fallas, aseos, mantenimientos preventivos o adaptaciones

para nuevas referencias, los cuales ocurren periódicamente en función de tiempo en uso, tiempo total, o número de entidades procesadas. En el proceso cervecero, todas las locaciones desde las ollas en el área de Elaboración de mosto hasta las dos líneas de envase luego de cumplir un ciclo tienen un tiempo no disponible.

Los cocimientos en el área de Cocinas están desfasados un tiempo promedio de 2 horas con el objetivo de que la cada olla después de terminar el proceso con un cocimiento pueda asearse y adaptarse para el recibo del siguiente. Adicionalmente, cada 55 cocimientos se tienen programados aseos generales y estos duran 20 horas.

Los Unitanques se asean durante un tiempo mínimo de 4 horas antes de considerarse disponibles para el recibo de los cocimientos salientes de Cocinas.

El Filtro puede no estar disponible por dos causas, primero, por que luego de filtrados un promedio de 2700 HI de Cerveza concentrada, la capa de tierra diatomácea (tierra minúscula porosa indispensable para filtrar) debe ser cambiada y acondicionada, este proceso dura un tiempo promedio de 160 minutos y segundo, un día cada semana se hacen aseos a toda el área de Filtración y estas actividades toman un tiempo de 24 horas.

Los Tanques de Contrapresión o BBT's luego de desocuparse duran un tiempo cercano a las 2 horas en aseos.

Y por último, el envase, después de que el Filtro ha entrado en aseos generales, trabaja hasta envasar la Cerveza restante en los Tanques de Contrapresión para luego durar cerca de 8 horas en aseos y mantenimientos.

Todos los tiempos de no disponibilidad anteriormente mencionados entre otros, han sido tenidos en cuenta dentro de la programación del modelo siguiendo su metodología.

e. Movimiento conjunto de entidades y de recursos

Las entidades como los recursos se mueven a través del sistema según se haya denotado en las rutas. Sin embargo, entre locación y locación existe una distancia que

tiene que tomar cualquiera de las siguientes consideraciones: ignorar la distancia, utilizar rutas o denotar la distancia y la velocidad de recorrido.

En el proceso cervecero y de malta, como la entidad principal que se maneja se encuentra en estado líquido, el transporte de ésta se hace a través de tuberías y es impulsada por medio de bombas. Dentro del modelo, las locaciones que representan las tuberías están programadas con una velocidad que representa el flujo real del producto a través de todas las áreas. Asimismo, las botellas, canastas y estibas son transportadas por medio de bandas y éstas también trabajan a una velocidad constante y previamente establecida. Es por esto que no se necesita considerar un movimiento que no fuera a través de tuberías o bandas transportadoras.

5.1.4. Consideraciones

En algunos casos fue necesario realizar consideraciones que permitieron simplificar aspectos generales del proceso para la construcción del modelo de simulación. Dentro de las consideraciones que se realizaron dentro del desarrollo del modelo se tienen:

- La simulación solo representará el estado normal de proceso, es decir, no se simulará producciones de pico ni fallas en el sistema.
- La cantidad de arroz entrante a la olla de crudos es de 17 HI y corresponden a los 1190 Kg de arroz que entran a crudos.
- La cantidad de malta entrante a la olla de crudos es 38 HI y la entrante a la olla de mezclas es de 238 HI. Los 38 HI corresponden a los 318 Kg de malta a crudos mas 36 HI de agua utilizada para la molienda y los 238 HI representan a los 6214 Kg de malta a mezclas, 3 HI para el acondicionamiento del molino de malta, 156 HI de agua para la molienda y 21 HI de agua utilizados para el empuje de la malta.
- La entidad que fluye desde el tanque de agua en el área de Cocinas hasta la entrada a Uniproceto es "MOSTO" y corresponde a un cocimiento o fracción de él. La entidad saliente del área de Uniproceto hasta que es envasada en las botellas es 1 HI de "CERVEZA" o 1 HI de "PONY" según sea el caso.

- El número de cocimientos que se realizan de Cerveza antes de cocinar Pony Malta son 110.
- No se comienza a cocinar mosto si no hay un Unitanque libre para el recibo del cocimiento.
- Los aseos en el área de Elaboración de mosto se realizarán cada 55 cocimientos, mientras que los aseos en Filtración se harán: pasados los 8.100 minutos, hasta que pase el último Hectolitro del ciclo de filtración.
- Luego de que a un Unitanque llega la última entidad que copa su capacidad se hacen aseos a la línea que conecta Cocinas con Uniproceso y a la olla de cocción, dichos aseos duran una hora.
- El tiempo de maduración es de 4 días, pero con posibilidad de ser menor dependiendo de la escasez de Cerveza en filtración y contrapresión. El mínimo tiempo de maduración es 3,5 días.
- Se comienza a filtrar el Unitanque que haya cumplido primero su etapa de maduración y no se filtrará otro que también esté listo hasta que el primero no quede completamente vacío, con la excepción de cuando la Pony Malta ya haya cumplido su tiempo de reposo en Uniproceso. La Pony Malta apenas termine su maduración solo espera a que termine el ciclo de Cerveza y termine el aseo de la línea que conecta al Uniproceso con filtración y éste dura 60 minutos.
- Los tiempos de aseo para las distintas áreas son constantes: 20 horas en la cocina, 24 horas en filtración y 4 horas en Unitanques (entre ciclo y ciclo).
- El caudal manejado por el Filtro es constante e igual a 374 HI/h.
- El tiempo de preparación del Filtro de Pony Malta antes del inicio de un nuevo ciclo es constante y dura 140 minutos.
- El porcentaje de dilución de agua en Cerveza es de 66,67% y el de agua en Pony Malta es de 100%.
- Los tiempos de proceso en las máquinas del envase son constantes.
- Los cambios de turno no influyen dentro de la eficiencia de la planta.
- El suministro de agua tanto en el tanque del área de Cocinas como en los tanques de agua desaireada no restringen la capacidad de ningún área.
- No se registran fallas en el sistema que ocasionen mantenimientos correctivos significantes.

- Los Tanques de Contrapresión y los tanques de agua desaireada tienen una capacidad máxima de 1200 HI.
- El reposo de la Cerveza en los Tanques de Contrapresión es de 4 horas o menos según la escasez de Cerveza en el envase, teniendo un mínimo de reposo de 3,8 horas.
- La entidad BOTELLAS_HL corresponde a 1 HI en botellas. Una CANASTA_VACIA O CANASTA_LLENA en el área de Envase corresponde a 1 HI de producto en canastas. Un PALET en el área de Envase corresponde a 1 HI de producto en estibas.
- El flujo de todas las líneas y tuberías tiene una velocidad constante, sin importar la entidad transportada ni sus atributos.
- No se tienen en cuenta paras en el sistema debido a capacitaciones de personal ni eventos o protocolos realizados por el departamento de seguridad industrial.

Cada una de las anteriores consideraciones tiene una o más sustentaciones y algunas fueron sugeridas por los tutores del proyecto o por el director de la planta. Primero, varias consideraciones se tomaron debido a que dentro de la planta ya se han hecho gran cantidad de estudios de análisis que soportan esta decisión. Segundo, no es relevante llegar a un alto grado de detalle del modelo, sabiendo de antemano que estas condiciones no alterarán los resultados. Tercero, se trata de un sistema altamente automatizado donde existen muchos tiempos constantes dentro del proceso y se manejan por medio de programas muy precisos. Y cuarto, dentro del proceso cervecero rige la receta y por tal condición la manipulación de ciertos factores se realiza con extremo cuidado garantizando una variabilidad muy baja en ciertos tiempos o cantidades.

5.1.5. Lógica de la construcción del modelo de simulación

El modelo computacional se construyó de manera secuencial siguiendo el flujo del proceso cervecero y de malta, es decir, se inició con la programación del área de Cocinas, pasando luego por Uniproceso y Filtración para llegar finalmente al área de Envase.

a. Elaboración de mosto

Dentro del proceso en Cocinas se programó el flujo de 2 entidades. Una entidad MOSTO que representa 1 Hl de mosto, donde por medio de un atributo llamado MARCA_MOSTO se diferencia el mosto correspondiente a la Cerveza del mosto de Pony Malta, y la segunda entidad: MOSTO_GRUPO representa agrupaciones de diferentes cantidades constituidas por la entidad MOSTO. Para la segunda entidad también se identificó con un atributo llamado TIPO_MOSTO, el cual facilita la identificación de las entidades para su posterior envío a los diferentes destinos.

La entidad MOSTO está programada para que a su llegada en el tanque de agua forme grupos de diferentes cantidades junto con otras entidades MOSTO, es decir, dentro del tanque de agua no hay entidades sueltas sino X cantidad de grupos de diferente tamaño. Existen 10 grupos dentro de los cuales la entidad MOSTO puede llegar a hacer parte. Cada grupo tiene un destino y un propósito diferente. Por ejemplo, el grupo conformado por 58 entidades MOSTO (58 hectolitros) representa la suma de la cantidad de agua con la cantidad de malta entrante a la olla de crudos por el molino de malta.

La razón principal de formar agrupaciones de hectolitros es porque no todas las entidades llegan a una olla al mismo tiempo y por la misma ruta. Por ejemplo, a la olla de filtración llegan 7 entidades MOSTO_GRUPO, la primera entidad representa los 27 hectolitros que se le adicionan a la olla para la preparación y ésta proviene del tanque de agua llegando unos 10 minutos antes del arribo de las 4 entidades provenientes de la olla de mezclas. Teniendo las 5 entidades en la olla de filtración salen otras 2 agrupaciones del tanque de agua, una representando el restante adicionado para el comienzo de la segunda etapa de filtración y la otra representando la cantidad de afrechos. Adicionalmente se trabajó en Cocinas por grupos debido a que el software corre con una velocidad inversamente proporcional a la cantidad de entidades en proceso, es decir, entre menos entidades se procesen, más rápido corre el programa.

A las diferentes ollas llegan varias entidades MOSTO_GRUPO, y allí demoran un tiempo definido por una distribución previamente establecida. Cumplido dicho tiempo, estas

entidades se mueven a través de las tuberías hasta llegar a la olla siguiente según el flujo definido en el proceso y así sucesivamente.

Luego de que estas entidades representantes de un cocimiento han pasado por todas las locaciones en Cocinas y terminan el proceso en la olla whirlpool, son desintegradas y vuelven a su entidad original MOSTO, donde por medio de una distribución se define la cantidad total que se dirigirá al Uniproceto y el restante sale del sistema (cantidad que representa el trub). Aquellas entidades que se encuentren dentro del conteo de la cantidad saliente a Uniproceto se agrupan nuevamente y se envían a la tubería que conecta la olla whirlpool con el Uniproceto, donde se definirá el Unitanque de destino.

La lógica de la programación del modelo de simulación para el área de Cocinas está regida por 47 variables, las cuales son activadas por las entidades al pasar por las locaciones, donde estas variables se encuentren programadas.

b. Uniproceto

Al Uniproceto llega una entidad del área de Cocinas que representa un cocimiento. Los cocimientos entran llenando los Unitanques de menor a mayor numeración, pero con prioridad de llenar aquel que tenga más de un cocimiento en su interior. Cuatro entidades se agrupan en cada uno de los Unitanques 1 al 24 y seis en cada uno de los Unitanques 26 al 32, donde permanecen por más de 15 días (tiempo establecido a través de distribuciones de probabilidad).

Cada cocimiento, representado por la entidad entrante (MOSTO_GRUPO) es la agrupación de un promedio de 440 entidades MOSTO. En el momento que la entidad MOSTO_GRUPO entra al Unitanque la cantidad de entidades que lo conforman se toma por una variable; HL_TANQUE1 (en el caso del primer Unitanque) la cual va sumándose con el arribo de los cocimientos restantes. Al finalizar el llenado del Unitanque se van a tener 4 o 6 entidades, para los Unitanques pequeños y los grandes, respectivamente, y una variable HL_TANQUE que expresa la cantidad en hectolitros en su interior. Otra variable fue creada para cada Unitanque con el objetivo de mostrar el proceso que se está llevando a cabo en su interior, cuando esta variable toma el valor 1; el Unitanque se

encuentra en estado de fermentación, 2 si es enfriamiento y 3 para cuando se encuentre en maduración.

Para el tiempo de ocupación de los Unitanque se utilizaron dos distribuciones, una para establecer el tiempo de fermentación y la otra para definir el tiempo de enfriamiento. La tercera etapa (maduración) se tomó un tiempo fijo de 4 días, valor “mínimo” en esta fase según la receta, sin embargo, se creó la posibilidad de que este tiempo sea menor (no inferior a 3.5 días), siempre y cuando el área de Filtración (área subsiguiente) esté escasa de producto.

Concluida la maduración, las cuatro o seis entidades se dividen en el número de entidades que exprese la variable HL_TANQUE, las cuales saldrán en orden y tomando el nombre “CERVEZA” o “PONY” (según sea el caso) hacia el área de Filtración a través de la tubería que conecta los dos procesos, por ejemplo, si HL_TANQUE17 es igual a 1750, las cuatro entidades que se encuentran en el Unitanque 17 se dividen en 1750 entidades llamadas “CERVEZA” o “PONY” las cuales salen del tanque por la tubería hacia Filtración. La decisión de pasar de agrupaciones a entidades que representen 1 HI se tomó principalmente debido a que el ciclo de funcionamiento del Filtro trabaja en función de cantidades procesadas en la unidad Hectolitros.

A la salida de los Unitanques se creó una función que permite la salida de entidades del sistema consideradas como la merma o desperdicio en el área. Para esto fue creada una distribución que arroja el porcentaje de desperdicio para cada situación, luego de que una entidad sale del sistema en Uniproceso, se recalcula la variable hasta obtener un porcentaje de desperdicio que simula aquel que sucede en la realidad (no menor de 4%).

Dentro de la lógica de repartición de cocimientos a los Unitanques se tiene incluido el envío de un cocimiento saliente de Cocinas al Unitanque 25. esto ocurrirá siempre y cuando un Unitanque del 26 al 32 acabe su proceso en los próximos 4 días (tiempo en proceso en el Unitanque 25), con el propósito de que apenas finalice el tiempo de espera en el Unitanque 25, el cocimiento que lo ocupa pueda llegar a un Unitanque grande ocupando el primer turno del siguiente ciclo.

A través de toda el área de Uniproceto, a pesar de que se trata de entidades con el mismo nombre MOSTO o MOSTO_GRUPO que representan tanto a la Cerveza como la Pony Malta, éstas se diferencian por medio del atributo MARCA que permite identificarlas, sin embargo cumplida la etapa en esta área, cada marca es transformada como una entidad diferente y se mantiene de esta forma hasta ser envasada.

Cabe resaltar que en ningún momento las agrupaciones de entidades que representan la Pony Malta y la Cerveza ocupan las mismas locaciones al mismo tiempo. Todos los procesos están programados por aparte y de tal manera que para el transporte, almacenamiento o demás tiempos de ocupación se realicen luego de terminados los respectivos aseos.

c. Filtración

La Cerveza y la Pony Malta comparten la misma línea desde el Uniproceto hasta Filtración, sin embargo éstas nunca logran mezclarse. La Cerveza que llega al área de Filtración es guiada hacia el tanque buffer del Filtro Steinecker y la Pony Malta es llevada hacia el tanque buffer del Filtro Enziger, ambas, luego de su proceso de filtración pasan al Carboblend.

En el sistema real, los Filtros trabajan con un flujo variable. Al comienzo del ciclo, el flujo del Filtro Steinecker se encuentra en su máxima expresión alcanzando valores superiores a los 450 HI/h, a medida que se filtra mayor cantidad de Cerveza este flujo va decayendo hasta unos 250 HI/h, al llegar al valor mínimo, el Filtro tiene un tiempo de no disponibilidad para la adaptación del siguiente ciclo. En el modelo de simulación, debido a que la velocidad de las bandas y las tuberías debe permanecer constante se consideró un flujo fijo de 374 HI/h. El valor de 374 HI/h proviene del promedio ponderado del flujo respecto al tiempo para diferentes muestras y cuyo cálculo se muestra en los registros del área de Filtración, los cuales se encuentran en el anexo N. Calculado de igual manera que el flujo del Filtro de Cerveza, la Pony Malta se filtra en el modelo de simulación con un flujo fijo de (210 HI/h). Adecuando estos valores, no fue necesario determinar un tiempo de operación o de espera para las entidades dentro de los Filtros, debido a que ya se ha coordinado su tiempo de operación con la velocidad de las tuberías que los abastecen.

Al salir del Filtro la Cerveza y la Pony Malta son llevadas hacia el subsistema Carboblend. Partiendo de la consideración de que la Cerveza es diluida con un porcentaje de 66,667% (2/3), se asumió que por cada 3 entidades de Cerveza que entren al Carboblend, entrarán 2 entidades de agua (2 HI.) y finalmente salen 5 entidades CERVEZA. Por su parte, se asumió también que el factor de dilución de la Pony Malta es del 100%, esto quiere decir que por cada entidad que entre de pony al Carboblend entrará una entidad de agua (1 HI.) y saldrán 2 entidades PONY. La Cerveza o la Pony Malta, son enviadas luego a través de una tubería a los Tanques de Contrapresión donde cumplirán un tiempo de reposo para luego ser enviados a las dos líneas de envase.

Existen 6 Tanques de Contrapresión o BBT's con capacidad de 1200 HI cada uno, donde se almacena la Cerveza y la Pony Malta para luego enviarlas a las dos líneas de envase. En la línea de envase 1 se envasa únicamente Costeñita (175 ml) y en la línea de envase 2 se envasa Águila y Pony Malta (330 ml).

Hasta este punto el programa ha diferenciado claramente los dos tipos de producto (Cerveza y Pony Malta), en cambio las referencias de Cerveza Costeñita y Águila, no es necesario diferenciarlas. Lo anterior tiene claras explicaciones: Primero, en realidad lo único que diferencia una marca de la otra, es la adición de cierta cantidad de jarabe de azúcar a la Cerveza Águila. La decisión de a cual cantidad adicionarle jarabe de azúcar y a cual no, la toman los operarios e ingenieros de Filtración, dependiendo de la cantidad almacenada en los Tanques de Contrapresión. En un momento que se tenga muy poca cantidad de Águila en los BBT's, al próximo ciclo de filtración se le adiciona el jarabe de azúcar. Es importante entonces tener en cuenta que se trata siempre de tener como mínimo un BBT abasteciendo a cada una de las líneas de envase, por lo tanto, lo único que importa es que el Tanque de Contrapresión que abastece una línea de envase nunca llegue a abastecer la otra. Segundo, es irrelevante mostrar la trazabilidad de dos referencias cuando se trata de un mismo producto desarrollado con las mismas técnicas, con los mismos recursos y con iguales tiempos de operación, sin embargo, en el momento en que se muestra un Tanque de Contrapresión abasteciendo una línea de envase o a la otra se puede intuir que marca de Cerveza es la que se encuentra en su interior.

d. Envase

El envase, por sugerencias del director de la Cervecería se trabajó con un grado de detalle menor al de las demás áreas. Por experiencia e innumerables estudios realizados se toma el envase como un área que está sobrada en capacidad respecto a las anteriores. Aún así muchos factores debieron tenerse en cuenta para la programación de sus actividades.

Las envasadoras trabajan a una velocidad teórica de 130.3 HI/h y 247 HI/h, para las líneas de envase 1 y 2, respectivamente, esto quiere decir que un Tanque de Contrapresión con 1200 HI que abastece la línea de envase 2 debe desocuparse en casi 5 horas, sin embargo, los registros tomados de los Tanques de Contrapresión muestran que estos se desocupaban en un promedio de 6 horas. Lo mismo ocurre con la línea de envase 1, donde el tiempo ideal de vaciado de un BBT es algo más de 9 horas y los registros muestran que realmente lo hace en un promedio de 10.9 horas. Estos tiempos exceden por varias razones y entre las principales son, la rotura de botellas durante el proceso y fallas en las máquinas por diferentes razones. Por esto se incluyó dentro de la programación una distribución que señala el tiempo adicional de vaciado de un BBT por cada 1200 HI envasados, retrasando el proceso de envase según lo indiquen las distribuciones y promedio de los tiempos reales.

Los tiempos de operación de todas las máquinas en el área de Envase están coordinadas con la velocidad de las bandas transportadoras que las abastece y en ninguna fueron programados tiempos ociosos por fallas, debido a que el interés es desarrollar un modelo que simule la normalidad del proceso.

Dentro del modelo fueron instalados varios contadores en las paletizadoras para el registro de cantidades envasadas y cantidades enviadas al Depósito para efectos de validación.

5.2. VERIFICACIÓN DEL MODELO

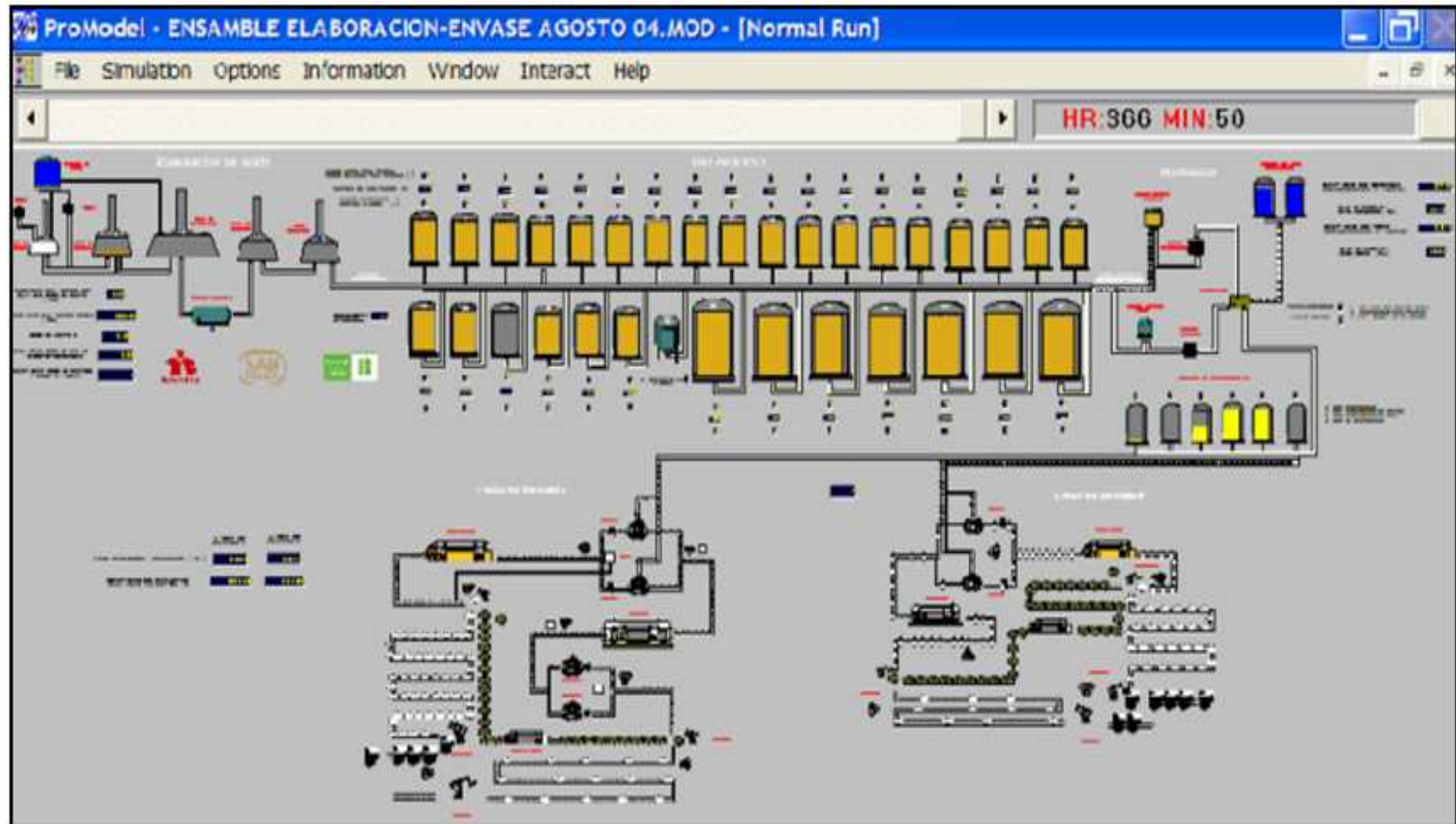
El proceso de verificación consiste en determinar si el modelo computacional está reflejando lo descrito por el modelo conceptual. Esta etapa representa un aspecto crítico para el cumplimiento del objetivo de la simulación.

Aunque llevar a cabo el proceso de verificación del modelo es relativamente sencillo, realizar las correcciones en la programación luego de la verificación es la parte complicada; es por eso que se decidió realizar la verificación de manera simultánea con la construcción, así, una vez se programaba alguna actividad, se corría el modelo, se tomaba nota de las diferencias entre el modelo computacional con el conceptual, se realizaban las correcciones pertinentes y se analizaba nuevamente.

Para la verificación del modelo concluida la programación de todo el sistema asistieron los ingenieros tutores del proyecto, los gerentes de varias dependencias y el director de la Cervecería. Al final, entre opiniones dadas por todos, se concluyó satisfactoriamente con un modelo de simulación completamente terminado y verificado.

El modelo final representa de manera dinámica las actividades que se llevan a cabo dentro de La Cervecería de Bucaramanga en su proceso cervecero y de maltas y su vista general extraída de la simulación realizada en el software PROMODEL, se puede observar en la figura 36 y cuyo archivo se presenta en el anexo S.

Figura 36. Vista general del modelo de simulación



Fuente: Los Autores

6. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTABLE Y DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN

6.1. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTABLE

El proceso productivo en la Cervecería Bavaria SAB-Miller de Bucaramanga es considerado como un sistema no terminal ya que es un proceso que no tiene condiciones naturales de iniciación y finalización, además no existe ninguna condición fija y constante entre cada una de las replicas que se realizan. En un sistema no terminal existen dos etapas: etapa de transición y etapa de estado estable.

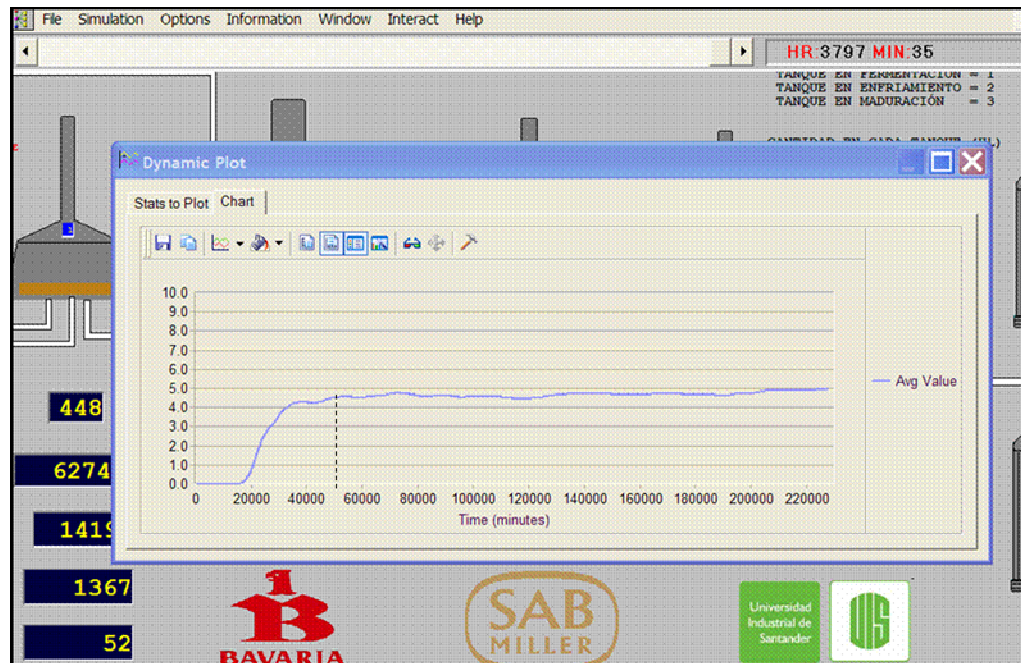
La etapa de transición es aquella en la cual las medidas de desempeño y variables del sistema buscan estabilizarse para lograr una operación normal. Al iniciar la simulación del proceso cervecero, las locaciones se encuentran sin ningún tipo de producto en proceso, por lo que las medidas de desempeño no van a reflejar el comportamiento normal del sistema. El estado estable es aquel donde cualquier medida de desempeño del sistema se encuentra normalizada y estabilizada.

Se supo con anterioridad que el modelo tardaría un tiempo considerable en llegar a su estado estable puesto que cada ciclo en Uniprocreso toma alrededor de 15 días, es decir, corridos los primeros 15 días en la simulación aún no han salido entidades de Uniprocreso a filtración y por lo tanto el modelo no se puede considerar en estado estable antes de cumplidos los 15 días.

Para llegar a la conclusión respecto al momento preciso en que el modelo se estabiliza, se creó una variable llamada CANTIDAD_UNITANQUES_EN_MADURACION. Esta variable es un contador de tiempo real de la cantidad de Unitanques que se encuentran en maduración y se tomó para este propósito debido a que la etapa de maduración representa el último tiempo de espera de las entidades en Uniprocreso, sabiendo que el Uniprocreso es aquel que consume el mayor tiempo de operación.

Al correr el modelo con la representación del promedio de los valores tomados por la variable anteriormente mencionada a través del tiempo de la simulación (ver figura 37) se concluyó que el tiempo que dura el sistema en llegar a su estado estable es después de cumplidos los primeros 50.000 minutos o 833,3 horas o 34,72 días.

Figura 37. Momento en el que el sistema llega a su estado estable



Fuente: Los Autores

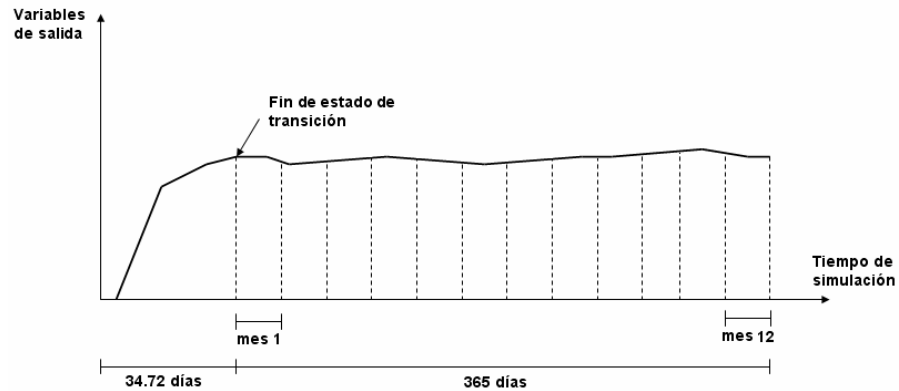
6.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN

Para un sistema no terminal que toma un período largo de tiempo en llegar al estado estable es aconsejable realizar una sola corrida del modelo y las muestras sobre los resultados tomarlas en intervalos dentro de ésta.

El tiempo total de simulación se consideró igual a un año (8762 horas) con intervalos de un mes (43.800 minutos). Esta determinación se tomó principalmente para favorecer el proceso de verificación y validación del modelo, así como para el análisis y comparación

de resultados que involucren valores arrojados por el modelo respecto a un largo o corto periodo de tiempo. Los tiempos de simulación se pueden observar en la figura 38.

Figura 38. Representación de los tiempos de simulación



Fuente: Los Autores

Al finalizar la simulación se obtuvieron estadísticas de todas las variables consideradas dentro del modelo para cada uno de los 12 meses.

Al realizarse una corrida larga, la cual se divide en n cantidad de intervalos, es necesario asegurar la independencia entre los lotes (total 12 lotes). Para confirmar esta independencia, se recurrió a la prueba de tendencias, la cual consiste en contar el número de cambios ascendentes y descendentes de una variable, cuyo valor se contrasta con un intervalo de confianza calculado. Para el presente análisis se consideró la variable 33 de la tabla 14 “Cantidad Total Enviada al Depósito”. Cada vez que el valor de esta variable cambie de tendencia con respecto del lote anterior, se suma en uno el total de los cambios. Al observar la tabla 14, se concluye con un total de 9 cambios.

Para el cálculo del intervalo de confianza se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento:

- a. Calcular la media: Se realiza por medio de la fórmula $\frac{2 * n - 1}{3}$, donde n= 12 (cantidad de intervalos), es decir que la media es igual a 7.67

b. Calcular la desviación: Mediante la fórmula $\sqrt{\frac{16 * n - 29}{90}} = 1.34$

c. Calcular los límites: Límite Inferior = media-3*desviación = 7.67-3*1.34=3.63

Límite Superior = media+3*desviación = 7.67+3*1.34=11.7

Si el número total de cambios se encuentra dentro del intervalo, se puede asumir independencia entre los datos originados por el modelo, por lo contrario, el modelo fracasaría y se debería cambiar la metodología de muestreo de los resultados. Como el valor total de cambios (9) se encuentra dentro del intervalo, se puede decir que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula referente a la independencia entre las muestras seleccionadas. En la hoja "Sistema Actual" del archivo de Excel del anexo U se puede observar el anterior procedimiento realizado.

7. VALIDACIÓN DEL MODELO

Antes de utilizar un modelo de simulación como una herramienta para la toma de decisiones, se debe asegurar que el mismo tenga validez y sea lo suficientemente parecido al sistema real.

La validación consiste en determinar si el comportamiento de las interacciones del modelo de simulación y los resultados que él arroje, son semejantes al comportamiento y los resultados del sistema real, de acuerdo a los objetivos que se plantearon para la construcción del modelo²⁶.

Para comprobar la validez del modelo de simulación desarrollado, fue necesario realizar pruebas de razonamiento con las cuales se busca encontrar si existe gran similitud entre el sistema real y el modelo creado. En la validación del modelo de simulación se realizan pruebas que tienen como objetivo determinar si las personas que están relacionadas con el sistema real confían en el modelo y están dispuestos a utilizarlo.

7.1. PRUEBA DE CONTINUIDAD

La prueba de continuidad se refiere a la realización de pequeños cambios en los parámetros o variables de entrada del modelo construido, los cuales deben provocar cambios de igual magnitud en las variables del siguiente proceso o en la salida del sistema.

Para llevar a cabo la prueba de continuidad se realizó un cambio en la variable que controla la cantidad de salida de Cerveza desde la Sala de cocimientos hacia el área de Uniproceso. El cambio consistió en pasar de una cantidad promedio de 445 HI a una cantidad promedio de 470 HI. Con este cambio se esperaba un aumento en la cantidad total enviada al Depósito ya que a mayor Cerveza cocinada es de esperarse un aumento

²⁶ Ibid., Pág. 212

en la cantidad envasada para un mismo periodo de tiempo. Al realizar la corrida con el flujo normal y el flujo aumentado, se encontraron diferencias para las variables que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Variación de las medidas de desempeño seleccionadas para la prueba de continuidad

| | | | % VARIACION |
|--|-----------|-----------|--------------------|
| CANTIDAD PROMEDIO DE CADA COCIMIENTO | 445 | 470 | 5.62 |
| CANTIDAD COCINADA [HI] | 1,318,809 | 1,395,726 | 5.83 |
| CANTIDAD TOTAL ENVIADA AL DEPÓSITO [HI] | 2,030,182 | 2,151,112 | 5.96 |

Fuente: Los Autores

Al observar la tabla con los resultados, se concluye que el cambio en la cantidad cocinada y enviada al Depósito en el modelo de simulación producido por el cambio en la cantidad promedio en hectolitros de cada cocimiento es de magnitud menor a un 3.6% de diferencia, por lo que se puede decir, que el modelo acepta la prueba de continuidad.

7.2. PRUEBA DE CONSISTENCIA

Esta prueba se refiere al equilibrio que debe existir entre los resultados que origine el modelo al realizarse corridas similares. Es decir, no deben presentarse grandes alteraciones en los resultados en 2 o más corridas que tengan las mismas variables.

Puesto que el modelo trabaja con velocidades de línea constantes, una manera sencilla de realizar esta prueba es mediante la observación de los Tanques de Contrapresión. Luego de 1000 horas simuladas, se observó que en los Tanques de Contrapresión siempre hubo entidades almacenadas, por lo tanto, se comprobó que las dos líneas de envase fueron abastecidas a lo largo del tiempo. Con una velocidad constante de vaciado de los Tanques de Contrapresión se concluyó que la cantidad envasada de Cerveza fue similar para diferentes intervalos de tiempo dentro de una misma corrida. Tal como se

puede observar en la tabla 14 (tabla de resultados), no existe una variación en la cantidad total producida entre cada uno de los meses simulados mayor de 6.5%.

7.3. PRUEBA DE DEGENERACIÓN

Esta prueba consiste en la remoción de detalles o elementos del modelo de simulación y demostrar que el impacto que estos tienen en los resultados sea acorde con la magnitud del cambio realizada en el modelo.

Para llevar a cabo esta prueba se realizó la remoción de dos tanques en el área de Uniproceso con capacidad de 6 cocimientos cada uno. Al correr el modelo por no menos de mil horas luego de alcanzado el estado estable se pudo observar su impacto en el sistema. El tiempo total de espera en el área de Cocinas debido a la inexistencia de un tanque desocupado aumentó cerca de un 15% y la variable relacionada con la cantidad de tanques listos para filtrar oscilaba entre 0 y 1, donde si se trabaja considerando los 32 Unitanques alcanza a tener valores promedio de 2 y a veces 3.

7.4. PRUEBA DE CONDICIONES ABSURDAS

En esta prueba se busca determinar el impacto que origina en el modelo la aparición de condiciones absurdas dentro de las variables de entrada o dentro de sus interacciones. Aquí se busca probar que cuando al modelo le entran insumos absurdos los resultados no sean absurdos y que además no se generen situaciones anormales dentro de la simulación.

Un ejemplo claro de este caso ocurre con la generación de los tiempos o cantidades arrojadas por la distribución normal, por características de la misma y en varios casos debido a la alta variación encontrada en algunos procesos, se puede obtener un valor negativo que afecte al desarrollo de la simulación.

Cercanas las mil horas simuladas en una corrida realizada antes de completar la verificación del modelo se obtuvo un ciclo de filtración de -50, dato completamente

absurdo. Para evitar este tipo de situaciones dentro de la simulación se optó por dos soluciones. Primero, si los datos historiales recolectados fueron aprobados por la distribución triangular, se sustituyó la distribución normal por ésta última y segundo, dentro de la programación se incluyó la posibilidad de recalcular el valor generado por la distribución en dado caso que éste fuera negativo. Finalmente el modelo corrió satisfactoriamente por más de 10.000 horas sin incurrir en condiciones absurdas.

7.5. PRUEBA DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO

Aquí se busca determinar si el modelo de simulación tenga un comportamiento semejante al sistema real. Básicamente lo que se determina es si el modelo de simulación genera y reproduce las distintas situaciones que se efectúan dentro del proceso, como el recrear dentro del modelo las dificultades que se producen en el sistema real (tiempos de aseo, paralización en la elaboración por falta de capacidad en los Unitanques o en el Filtro por falta de capacidad en los BBT's). También pretende determinar si las fallas que se presentan en el modelo de simulación ocurren también en el mundo real. Esta prueba se realizó de manera satisfactoria durante la programación del modelo y de manera simultánea al proceso de verificación.

7.6. PRUEBA DE ESTRUCTURA DE LOS DATOS

La prueba de estructura de los datos consiste en comprobar si los datos generados a través de la estructura del modelo son coherentes y representan al sistema real. Para esta etapa se realizaron pruebas estadísticas de promedios y de varianzas con las cuales se buscaba reconocer si los datos generados por el modelo tienen similitud con los que origina el sistema.

Para esta comparación se seleccionó la variable Cantidad Total Enviada al Depósito, la cual corresponde al total de Cerveza envasada en cada una de las líneas de envase y que se encuentra lista para comercializar. Para este análisis, fue necesario recolectar los datos correspondientes a la cantidad enviada al Depósito en el sistema real, encontrando

información para meses desde enero de 2006 hasta agosto de 2008, la cual se muestra en las tablas 6 y 7 y está discriminada según la línea empleada para el envase.

Tabla 6. Cantidad total enviada al Depósito desde la línea 1 en el sistema real

| PRODUCCION EN HL DE LA LINEA DE ENVASE 1 (COSTENITA) | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Mes | 2006 | 2007 | 2008 |
| Enero | 49,069 | 56,428 | 59,683 |
| Febrero | 37,664 | 45,861 | 48,913 |
| Marzo | 18,887 | 43,978 | 48,203 |
| Abril | 43,514 | 37,445 | 61,403 |
| Mayo | 51,633 | 44,815 | 56,494 |
| Junio | 47,839 | 53,110 | 51,917 |
| Julio | 52,751 | 28,121 | 43,644 |
| Agosto | 54,094 | 52,130 | |
| Septiembre | 51,912 | 54,466 | |
| Octubre | 45,560 | 58,489 | |
| Noviembre | 56,828 | 62,071 | |
| Diciembre | 61,638 | 58,363 | |
| Total general | 571,390 | 595,278 | 370,257 |

Fuente: Bavaria SAB-Miller

Tabla 7. Cantidad total enviada al Depósito desde la línea 2 en el sistema real

| PRODUCCION EN HL DE LA LINEA 2 DE ENVASE (AGUILA Y PONY MALTA) | | | |
|---|------------------|------------------|----------------|
| Mes | 2006 | 2007 | 2008 |
| Enero | 85,175 | 115,687 | 85,565 |
| Febrero | 63,796 | 104,179 | 96,744 |
| Marzo | 81,038 | 109,490 | 104,197 |
| Abril | 83,038 | 82,252 | 90,314 |
| Mayo | 92,678 | 104,977 | 102,296 |
| Junio | 92,186 | 49,492 | 102,456 |
| Julio | 90,399 | 102,238 | 115,341 |
| Agosto | 102,623 | 102,288 | |
| Septiembre | 89,692 | 105,951 | |
| Octubre | 90,254 | 106,206 | |
| Noviembre | 99,401 | 114,669 | |
| Diciembre | 100,996 | 112,148 | |
| Total general | 1,071,276 | 1,209,577 | 696,913 |

Fuente: Bavaria SAB-Miller

Al analizar los datos presentados para cada una de las líneas de envase, se observa una alta variación en la producción de los meses correspondientes para cada año, es decir, existen alteraciones en la cantidad enviada al Depósito para los distintos meses del año. Estas alteraciones corresponden a las fallas que se presentaron en el sistema real, como reparaciones, mantenimientos correctivos y demás paralizaciones no programadas. Estas alteraciones también son afectadas por la demanda que se tiene para la temporada de fin de año donde la producción debe ser alta y así suplir la demanda del mercado.

Al realizar la comparación entre el sistema real y los resultados arrojados por la simulación es importante reconocer que el modelo no contempla este tipo de fallas, por lo tanto es razonable esperar que la producción arrojada por el modelo de simulación sea superior a la encontrada en el sistema real. Para eliminar este tipo de sesgo se ha considerado conveniente seleccionar los datos que representen la producción mensual más alta, y así poder comparar el sistema real con los resultados de la simulación, de acuerdo a las condiciones normales y consideraciones con las que fue construido el modelo. Los datos seleccionados para la comparación de los dos sistemas se encuentran en la tabla 8, la cual se muestra a continuación:

Tabla 8. Cantidad total enviada al Depósito desde las líneas 1 y 2 en el sistema real, en condiciones normales de producción

| BATCH | CANTIDAD LÍNEA 1 (HI) | CANTIDAD LÍNEA 2 (HI) | CANTIDAD TOTAL (LÍNEA 1 + LÍNEA 2) (HI) |
|-------|-----------------------|-----------------------|---|
| 1 | 54,094 | 115,687 | 169,781 |
| 2 | 56,828 | 104,179 | 161,007 |
| 3 | 61,638 | 109,490 | 171,127 |
| 4 | 56,428 | 104,977 | 161,406 |
| 5 | 53,110 | 105,951 | 159,061 |
| 6 | 54,466 | 106,206 | 160,672 |
| 7 | 58,489 | 114,669 | 173,158 |
| 8 | 62,071 | 112,148 | 174,219 |
| 9 | 58,363 | 104,197 | 162,561 |
| 10 | 59,683 | 102,296 | 161,979 |
| 11 | 61,403 | 102,456 | 163,859 |
| 12 | 56,494 | 115,341 | 171,835 |
| | | PROMEDIO | 165,889 |
| | | DESVIACIÓN | 5628.02 |

Fuente: Los Autores

La tabla anterior muestra la cantidad de Cerveza en HI enviada al Depósito desde cada una de las líneas de envase para los meses que tengan una producción normal dentro del sistema (sin considerar fallas en la construcción del modelo). Luego de organizar de forma cronológica los datos seleccionados se realiza la sumatoria para cada uno de los intervalos para así obtener la cantidad total enviada al Depósito por parte del sistema real. Los resultados del modelo de simulación para la variable cantidad total enviada al Depósito se encuentra en la tabla 9 la cual se muestra a continuación:

Tabla 9. Resultados de simulación para la variable Cantidad total enviada al Depósito desde las líneas 1 y 2

| BATCH | CANTIDAD LÍNEA 1 (HI) | CANTIDAD LÍNEA 2 (HI) | CANTIDAD TOTAL (LÍNEA 1 + LÍNEA 2) (HI) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| 1 | 63,079 | 101,473 | 164,552 |
| 2 | 66,037 | 109,546 | 175,583 |
| 3 | 65,626 | 107,543 | 173,169 |
| 4 | 63,292 | 103,703 | 166,995 |
| 5 | 61,452 | 106,434 | 167,886 |
| 6 | 60,864 | 106,323 | 167,187 |
| 7 | 64,845 | 113,186 | 178,031 |
| 8 | 65,277 | 110,185 | 175,462 |
| 9 | 56,788 | 100,977 | 157,765 |
| 10 | 63,145 | 105,430 | 168,575 |
| 11 | 60,601 | 103,354 | 163,955 |
| 12 | 62,061 | 108,961 | 171,022 |
| PROMEDIO | | | 169,182 |
| DESVIACION | | | 5783.32 |

Fuente: Los Autores

Luego de tener la información seleccionada a comparar, el siguiente paso fue realizar pruebas estadísticas que permitan reconocer si hay o no diferencia entre las muestras. Para esto se realizó un análisis de varianza de un factor, cuyas hipótesis son:

Ho: No existe diferencia entre las medias de los resultados de la simulación para la variable “Cantidad Total Enviada al Depósito” y las cantidades enviadas al Depósito en el sistema real considerando normalidad en las operaciones.

Hi: Existe diferencia entre las medias de los resultados de la simulación para la variable “Cantidad Total Enviada al Depósito” y las cantidades enviadas al Depósito en el sistema real considerando normalidad en las operaciones.

Se realizó un análisis de varianza cuyo resumen se muestra a continuación en la tabla 10:

Tabla 10. Análisis de Varianza para la cantidad total enviada al Depósito entre el sistema real y el modelo de simulación

| RESUMEN | | | | |
|---------------|---------------|-------------|-----------------|-------------------|
| <i>Grupos</i> | <i>Cuenta</i> | <i>Suma</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación</i> |
| Columna 1 | 12 | 2030182 | 169181.8333 | 5783.323578 |
| Columna 2 | 12 | 1990664.118 | 165888.6765 | 5628.015539 |

| ANALISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------|
| <i>Origen de las variaciones</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
| Entre grupos | 65069293.1 | 1 | 65069293.06 | 1.9984 | 0.171460113 | 4.30094946 |
| Dentro de los grupos | 716335296 | 22 | 32560695.26 | | | |
| Total | 781404589 | 23 | | | | |

Fuente: Los Autores

Como el valor F es menor al valor crítico para F ($1.99 < 4.30$) se afirma que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula que no hay diferencia entre las medias de los resultados del modelo y los del sistema real, es decir, al realizar esta prueba el modelo tiene validez, ya que al comparar las muestras, no se encuentra diferencia entre los datos generados por la simulación y los encontrados en el sistema real. Un soporte adicional a la prueba de validación fue la realización de un intervalo de confianza para los resultados que arroje en la simulación la variable “Cantidad Total enviada al Depósito”. El intervalo de confianza para el promedio de esta variable es:

$\mu = [x - h, x + h]$, en donde x es el estimado del promedio y h es el ancho del intervalo

$h = t [1-\alpha/2, n-1] * s(x)$, y $t[1-\alpha/2, n-1]$ se toma de la tabla de valores de T para un nivel de significancia de α .

Si tomamos como base los datos de la tabla 9 para calcular el intervalo de confianza para la variable “Cantidad Total enviada al Depósito” se tiene:

$$t[0.975, 11] = 2.20$$

$$s(x) = \frac{5,783.32}{\sqrt{12}} = 5,779.8 \text{ [HI]}$$

$$H = 2.2 * 5,779.86 = 3,674.5$$

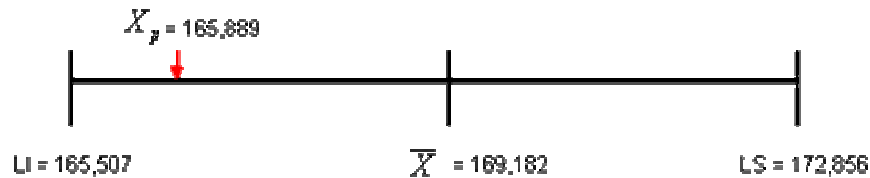
$$\bar{X} = 169,182 \text{ [HI]}$$

El cálculo del intervalo de confianza para el promedio de la variable Cantidad total de Cerveza enviada al Depósito se encuentra a continuación y se puede ver representado en la figura 39.

$$LI = 169,182 - 3,674.5 = 165,507 \text{ [HI]}$$

$$LS = 169,182 + 3,674.5 = 172,856 \text{ [HI]}$$

Figura 39. Intervalo de confianza para el promedio de la variable Cantidad total de Cerveza enviada al Depósito

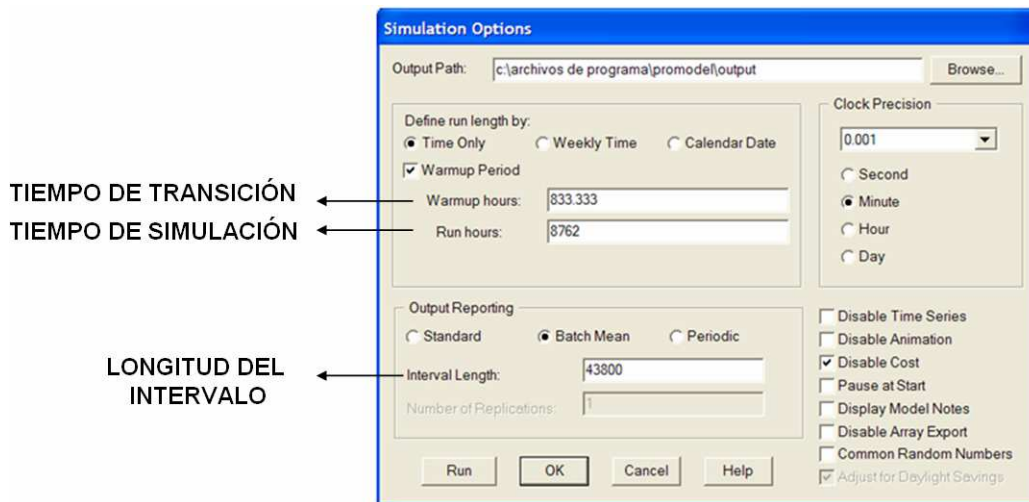


Se puede concluir entonces que con un nivel de confianza del 95% la cantidad total enviada al Depósito por mes para este modelo se encuentra entre 165,507 HI y 172,856 HI; y como el promedio de los resultados para esta variable en el sistema real se encuentra dentro del intervalo de confianza se asume la validez del modelo al realizar esta prueba. Para asegurar la validez del modelo de simulación, adicionalmente se realizaron pruebas de análisis de varianza para otras variables de interés, como lo son la cantidad en hectolitros de la vida útil de los Filtros de Cerveza y Pony Malta; y la cantidad en hectolitros que se envía a cada Unitanque, las cuales se encuentran en el anexo T y con las cuales se concluye que el modelo tiene validez al compararlo con el sistema real.

8. RESULTADOS DEL MODELO

El modelo se programó para que corriera un tiempo de transición de 833.33 horas para luego correr otras 8,762 horas (tiempo de simulación) que representan el total de un año, tal cual se mencionó en el capítulo 6 y como se puede ver en la figura 40.

Figura 40. Vista de las opciones para la simulación del modelo



Fuente: Los Autores

El modelo necesita menos de 12 horas para simular las 9,595 horas totales del proceso completo y arrojó los resultados para cada intervalo de tiempo como se muestra en el anexo U.

8.1. DEPURACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO

Concluida la simulación, el programa suministra los resultados para cada intervalo definido, que se tomó como cada mes. Cada archivo resultante en extensión *.text contiene gran cantidad de información para las estaciones, las entidades y las variables como se explica a continuación:

- Estadísticas para cada estación: horas programadas, capacidad, cantidad de unidades procesadas, tiempo promedio entre entidad procesada, cantidad máxima de entidades manejada, porcentaje de utilización, porcentaje de tiempo de desocupación, porcentaje de tiempo de locación parcialmente llena, porcentaje de tiempo de locación totalmente llena, porcentaje de tiempo no disponible, porcentaje de tiempo ocioso y porcentaje de tiempo de locación bloqueada.
- Estadísticas para cada entidad: cantidad total de entidades procesadas, cantidad de entidades en el sistema (al momento del corte del intervalo), porcentaje promedio de tiempo en el sistema, porcentaje promedio de tiempo en movimiento, porcentaje promedio de tiempo esperando por recurso, porcentaje promedio de tiempo en operación y tiempo promedio de entidad bloqueada.
- Estadísticas para cada variable: total de cambios, tiempo promedio por cambio, valor mínimo, valor máximo, valor actual (al momento del corte del intervalo) y valor promedio.

De todos estos resultados arrojados por el programa se tuvieron en cuenta únicamente los resultados referentes a variables que fueron programadas con el propósito de medir varios tiempos o cantidades que demuestran el rendimiento del sistema a través del tiempo. La captación y organización de estas variables para un mejor análisis constituyó el objetivo de la depuración de resultados.

Las estadísticas arrojadas por el programa respecto a las locaciones o las entidades no se tuvieron en cuenta para el análisis de los resultados debido a que estos cálculos arrojados se pueden malinterpretar, dado que el programa calcula tiempos que determina como si fuesen de espera, o como tiempos de operación, o como tiempos ociosos; considerando que se cumplen ciertas condiciones las cuales ocurren normalmente en sistemas discretos, pero teniendo en cuenta que el presente sistema es un sistema continuo y las entidades fluyen dependiendo del valor que obtienen las variables de control (variables que actúan como válvulas) los tiempos ociosos y demás de operación

son almacenados en variables creadas con tal propósito las cuales son las que se toman para el análisis de los resultados.

Se identificaron las variables contadoras de cantidad procesada por área, variables de control que muestran la restricción en la capacidad, tiempos de demora por área, entre otras que ayudaron para la verificación y la validación del modelo.

Se construyó una tabla que resume los resultados para cada intervalo donde se encuentran los totales que representan un año de producción de la Cervecería. En la tabla 14 se pueden observar las 33 variables más importantes depuradas que reflejan el rendimiento de la planta respecto a tiempos y cantidades para 365 días de producción.

Entre las variables más representativas de la tabla 14 se encuentran: el tiempo de espera en el área de Cocinas a causa de incapacidad en el área de Uniproceto (variable 18 en la tabla) y tiempo de espera por BBT en filtración (variable 20 en la tabla). Estos dos tiempos son el resultado de la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de las variables; TIEMPO_RETRASO_TOTAL_COCINAS y TIEMPO_RETRASO_TOTAL_FILTRO, respectivamente y las cuales se encuentran en los archivos del anexo U. Las otras variables fueron obtenidas de manera similar teniendo en cuenta los documentos exportados por el modelo y posteriormente adicionadas a la tabla.

Adicionalmente, dentro de la programación del modelo se creó la posibilidad de exportar todos los valores tomados para algunas variables escogidas por medio de vectores a un archivo de Excel, el cual se encuentra en el anexo V y muestra todos los cambios y sus respectivos valores para las variables CANTIDAD_UNITANQUES_LISTOS, CANTIDAD_UNITANQUES_EN_MADURACION, CANTIDAD_BBTS_OCUPADOS, TIEMPO_RETRASO_COCINAS_POR_COCIMIENTO y TIEMPO_RETRASO_FILTRO. Con todos los datos para las primeras tres variables se pudieron construir las tablas 11, 12 y 13, donde se muestran todas las estadísticas referentes.

Tabla 11. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del sistema actual

| CANTIDAD DE UNITANQUES LISTOS PARA FILTRAR | | |
|--|------|-------|
| Promedio | 2.04 | |
| Desviación | 1.49 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 7 | |
| Moda | 1 | |
| Cantidad de Valores 0 | 192 | 14.7% |
| Cantidad de Valores 1 | 356 | 27.2% |
| Cantidad de Valores 2 | 315 | 24.1% |
| Cantidad de Valores 3 | 221 | 16.9% |
| Cantidad de Valores 4 | 130 | 9.9% |
| Cantidad de Valores 5 | 69 | 5.3% |
| Cantidad de Valores 6 | 22 | 1.7% |
| Cantidad de Valores 7 | 2 | 0.2% |
| Suma | 1307 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 12. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del sistema actual

| CANTIDAD DE UNITANQUES EN MADURACION | | |
|--------------------------------------|------|-------|
| Promedio | 6.85 | |
| Desviación | 1.97 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 15 | |
| Moda | 7 | |
| Cantidad de Valores 0 | 1 | 0.1% |
| Cantidad de Valores 1 | 5 | 0.4% |
| Cantidad de Valores 2 | 15 | 1.2% |
| Cantidad de Valores 3 | 37 | 2.8% |
| Cantidad de Valores 4 | 81 | 6.2% |
| Cantidad de Valores 5 | 164 | 12.6% |
| Cantidad de Valores 6 | 245 | 18.8% |
| Cantidad de Valores 7 | 278 | 21.4% |
| Cantidad de Valores 8 | 244 | 18.8% |
| Cantidad de Valores 9 | 135 | 10.4% |
| Cantidad de Valores 10 | 52 | 4.0% |
| Cantidad de Valores 11 | 26 | 2.0% |
| Cantidad de Valores 12 | 11 | 0.8% |
| Cantidad de Valores 13 | 4 | 0.3% |
| Cantidad de Valores 14 | 2 | 0.2% |
| Cantidad de Valores 15 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1301 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 13. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del sistema actual

| CANTIDAD DE BBT'S OCUPADOS | | |
|----------------------------|------|-------|
| Promedio | 4.12 | |
| Desviación | 1.33 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 6 | |
| Moda | 5 | |
| Cantidad de Valores 0 | 50 | 1.4% |
| Cantidad de Valores 1 | 136 | 3.7% |
| Cantidad de Valores 2 | 224 | 6.1% |
| Cantidad de Valores 3 | 584 | 15.8% |
| Cantidad de Valores 4 | 1085 | 29.4% |
| Cantidad de Valores 5 | 1124 | 30.5% |
| Cantidad de Valores 6 | 485 | 13.2% |
| Suma | 3688 | 100% |

Fuente: Los Autores

A diferencia de los promedios calculados en las tablas 11, 12 y 13, los promedios arrojados por el programa y tabulados a continuación son cálculos ponderados que involucran el factor tiempo.

8.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO

La tabla de resultados muestra que se simularon 365 días en donde se cocinaron 2,985 cocimientos (variable 3), constituidos por 2,901 de Cerveza y 84 de Pony Malta con una cantidad total cocinada de 1'318,809 HI concentrados (variable 6). Se filtraron 1'228,054 HI de Cerveza concentrada y 40,418 HI de Pony Malta Concentrada en un promedio de 2,548 HI/ciclo y 994 HI/ciclo en cada Filtro respectivamente. Se envió al Depósito una cantidad diluida de producto que suma el total de 2'030,182 HI (variable 33), cantidad dividida en 753,067 HI de Costeñita y 1'277,115 HI entre Águila y Pony Malta.

En el área de Uniproceso se produjo un 4.16% de merma de producto mientras que en filtración, en línea de envase 1 y en línea de envase 2, resultaron mermas de 2.35%, 2.37% y 2.28%, respectivamente.

Tabla 14. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el sistema actual²⁷

| VARIABLES | MES | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 Hora de Inicio | 833,33 | 1563,33 | 2293,33 | 3023,33 | 3753,33 | 4483,33 | 5213,33 | 5943,33 | 6673,33 | 7403,33 | 8133,33 | 8863,33 | 833,33 | 365 días |
| 2 Hora Final | 1563,33 | 2293,33 | 3023,33 | 3753,33 | 4483,33 | 5213,33 | 5943,33 | 6673,33 | 7403,33 | 8133,33 | 8863,33 | 9593,33 | 9593,33 | |
| 3 Cantidad de Cocimientos Totales | 238 | 259 | 250 | 252 | 244 | 240 | 270 | 251 | 237 | 241 | 246 | 257 | 2985 | |
| 4 Cantidad de Cocimientos Cerveza | 234 | 251 | 242 | 248 | 236 | 235 | 259 | 247 | 229 | 233 | 238 | 249 | 2901 | |
| 5 Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 4 | 8 | 8 | 4 | 8 | 5 | 11 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 84 | |
| 6 Cantidad Cocinada (Hl) | 105.057 | 114.567 | 109.724 | 112.304 | 107.018 | 106.489 | 119.422 | 111.310 | 104.816 | 105.719 | 108.752 | 113.631 | 1.318.809 | |
| 7 Promedio Unitanques en Maduración | 6,96 | 6,56 | 7,04 | 6,78 | 6,69 | 7,05 | 6,78 | 6,95 | 6,84 | 6,55 | 6,06 | 7,05 | 6,76 | |
| 8 Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 2,21 | 1,82 | 1,77 | 2,12 | 2 | 1,75 | 1,79 | 1,51 | 2,22 | 2,16 | 3,19 | 1,62 | 2,00 | |
| 9 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (Hl concentrados) | 2298,57 | 2.430,50 | 2.508,34 | 2.885,50 | 2.497,78 | 2.688,19 | 2.309,40 | 2.429,90 | 2.557,61 | 2.438,90 | 2.613,35 | 2.672,65 | 2548,37 | |
| 10 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (Hl concentrados) | 915,21 | 944,69 | 911,27 | 1.040,15 | 987,56 | 1.026,20 | 1.086,88 | 1.272,01 | 960,49 | 1.156,16 | 680,57 | 868,64 | 994,06 | |
| 11 Cerveza Filtrada (Hl) | 98.440 | 107.985 | 105.850 | 100.581 | 101.526 | 103.376 | 107.029 | 104.124 | 96.239 | 101.114 | 96.139 | 105.651 | 1.228.054 | |
| 12 Pony Filtrada (Hl) | 3.690 | 3.662 | 1.826 | 3.693 | 3.690 | 1.840 | 3.657 | 3.669 | 3.674 | 3.667 | 3.688 | 3.662 | 40.418 | |
| 13 Merma Uniproceso (Hl) | 4.266 | 4.696 | 4.597 | 4.378 | 4.394 | 4.503 | 4.647 | 4.524 | 4.203 | 4.398 | 4.182 | 4.598 | 53.386 | |
| 14 Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4,1536 | 4,1675 | 4,1622 | 4,1712 | 4,1484 | 4,1741 | 4,1611 | 4,1639 | 4,1845 | 4,1682 | 4,1686 | 4,1706 | 4,1661 | |
| 15 Merma Filtración (Hl) | 3.909 | 4.200 | 4.154 | 3.919 | 3.948 | 4.036 | 4.183 | 4.122 | 3.759 | 3.929 | 3.881 | 4.089 | 48.129 | |
| 16 Porcentaje Merma Filtración (%) | 2,383 | 2,334 | 2,355 | 2,338 | 2,333 | 2,343 | 2,345 | 2,375 | 2,344 | 2,331 | 2,422 | 2,322 | 2,351 | |
| 17 Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 8 | 10 | 12 | 4 | 6 | 9 | 10 | 10 | 8 | 6 | 6 | 13 | 102 | |
| 18 Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 143,71 | 136,04 | 124,27 | 123,53 | 154,41 | 133,27 | 89,22 | 118,18 | 166,88 | 144,84 | 146,11 | 123,23 | 1.603,69 | |
| 19 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 6,88 | 8,21 | 8,3 | 5,78 | 9,1 | 7,33 | 8,43 | 13,85 | 9,34 | 15,21 | 19,68 | 9,79 | 10,16 | |
| 20 Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 25,9 | 15,32 | 12,84 | 29,41 | 36,85 | 17,18 | 18,43 | 19,48 | 30,98 | 24,28 | 35,32 | 23,99 | 289,98 | |
| 21 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 1,91 | 0,87 | 1,54 | 2,09 | 2,3 | 1,54 | 1,44 | 1,16 | 1,45 | 1,7 | 2,04 | 1,21 | 1,60 | |
| 22 Promedio de BBT's Ocupados | 3,47 | 3,68 | 3,51 | 3,55 | 3,64 | 3,53 | 3,62 | 3,63 | 3,34 | 3,57 | 3,54 | 3,61 | 3,56 | |
| 23 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 77,93 | 79,95 | 68,08 | 75,06 | 84,23 | 74,15 | 79,27 | 73,68 | 76,33 | 77,97 | 74,31 | 81,56 | 76,88 | |
| 24 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 68,44 | 70,01 | 68,09 | 69,73 | 68,72 | 70,44 | 68,28 | 69,14 | 69,32 | 68,24 | 70,63 | 69,88 | 69,24 | |
| 25 Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 51 | |
| 26 Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 52 | |
| 27 Merma Línea de Envase 1 (Hl) | 1.537 | 1.595 | 1.608 | 1.532 | 1.467 | 1.473 | 1.599 | 1.600 | 1.381 | 1.541 | 1.460 | 1.495 | 18.288 | |
| 28 Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2,379 | 2,358 | 2,392 | 2,363 | 2,332 | 2,363 | 2,407 | 2,392 | 2,374 | 2,382 | 2,353 | 2,352 | 2,371 | |
| 29 Merma Línea de Envase 2 (Hl) | 2.359 | 2.597 | 2.488 | 2.441 | 2.509 | 2.504 | 2.643 | 2.574 | 2.377 | 2.435 | 2.421 | 2.522 | 29.870 | |
| 30 Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2,272 | 2,316 | 2,261 | 2,300 | 2,303 | 2,301 | 2,282 | 2,283 | 2,300 | 2,257 | 2,289 | 2,262 | 2,285 | |
| 31 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (Hl) | 63.079 | 66.037 | 65.626 | 63.292 | 61.452 | 60.864 | 64.845 | 65.277 | 56.788 | 63.145 | 60.601 | 62.061 | 753.067 | |
| 32 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (Hl) | 101.473 | 109.546 | 107.543 | 103.703 | 106.434 | 106.323 | 113.186 | 110.185 | 100.977 | 105.430 | 103.354 | 108.961 | 1.277.115 | |
| 33 Cantidad Total Enviada al Depósito (Hl) | 164.552,00 | 175.583,00 | 173.169,00 | 166.995,00 | 167.886,00 | 167.187,00 | 178.031,00 | 175.462,00 | 157.765,00 | 168.575,00 | 163.955,00 | 171.022,00 | 2.030.182,00 | |

Fuente: Los Autores

²⁷ Las variables subrayadas son aquellas que tienen la mayor importancia dentro del análisis de los resultados.

Respecto a las variables de rendimiento y capacidad de las áreas se pueden llegar a conclusiones muy importantes:

- El tiempo total de espera en el área de Cocinas debido a la incapacidad en Uniproceso fue de 1,603 h (variable 18) con un promedio de 10.16 h/retraso (variable 19), es decir, un total de 66.8 días. La cocina estuvo sin trabajo por inexistencia de un Unitanque disponible para el recibo de los cocimientos. Adicionalmente, si se considera una cantidad promedio de 55 cocimientos por semana, Elaboración de mosto deja de producir 524 cocimientos en un año, lo que da un total de 230.500 HI concentrados de capacidad no aprovechada en el área, asumiendo cocimientos que promedien 440 HI.
- El tiempo total de espera en el área de Filtración debido a incapacidad en los Tanques de Contrapresión fue de 290 horas (variable 20) con un promedio de 1.6 h/retraso, resultando un total de 12.1 días de retraso en Filtración a causa de incapacidad en BBT's por año. Considerando que de esos 12.1 días, los ciclos del Filtro permiten un rendimiento de 90% y que en un 80% de este tiempo exista al menos un Unitanque abasteciendo a Filtración, se obtiene un total de 8.7 días totales de retraso. Asumiendo un flujo del Filtro constante e igual a 374 HI/h se dejarían de filtrar 78.000 HI concentrados o 130.260 HI diluidos en un año.
- Se desocuparon 102 Unitanques sin cumplir la etapa de maduración, esto quiere decir que, asumiendo un promedio ponderado por tanque de 1,960 HI, se filtraron 199,920 HI de Cerveza concentrada que se maduró entre 3.5 y 4 días. Esta cantidad corresponde al 16.28% del total filtrada durante el año. Adicionalmente se puede concluir con este valor que hubo un total de 102 ocasiones en las que había máximo 2 Tanques de Contrapresión ocupados y estos ya estaban abasteciendo el envase.
- El promedio de BBT's ocupados en el año según la tabla 14 fue 3.56, sin embargo, este valor tal como se dijo anteriormente es ponderado involucrando el tiempo transcurrido, es decir, tiende a 0 durante las 24 horas de aseos del Filtro debido a que no hay un solo BBT ocupado. Sin tener en cuenta el factor tiempo sino simplemente

los valores tomados por la variable, la tabla 13 muestra que el promedio de BBT's ocupados fue 4.12 y el número más frecuente de Tanques de Contrapresión ocupados fue 5. Una moda de 5, donde el valor máximo es 6 y sabiendo que los BBT's tienen un tiempo no disponible de 2 horas luego de su vaciado, señalan que la cantidad de Tanques de Contrapresión puede no dar abasto en situaciones donde haya varios ciclos consecutivos de filtración largos y existan 2 o más Unitanques listos para filtrar.

- Una de las variables más importantes que debe estar bajo observación es la cantidad de Unitanques listos para filtrar. Dado el caso que el valor de esta variable aumente progresivamente a través del tiempo se puede concluir que el área subsiguiente (Filtración) limita la capacidad de Uniproceso e igualmente la de Cocinas. De lo contrario, si ésta permanece en valores cercanos a 0 se concluye que Filtración no limita la capacidad de Uniproceso sino al contrario. Por otro lado, el sistema óptimo sería que la variable que señala la cantidad de Unitanques listos para filtrar permaneciera entre los valores 1 y 2 a través del tiempo.

Como se observa en la tabla 11, el promedio de Unitanques listos para filtrar fue de 2.04 pero con una variabilidad significativamente alta. Así como alcanzan a haber más de 5 Unitanques listos en espera, también hubo 192 ocasiones en las que ningún Unitanque se encontraba listo para filtrar. Tal como se muestra en la gráfica de la variable "Unitanques Listos" en el anexo V, las veces que llegaba a tener valores altos se comenzaba a reducir de manera gradual quedando controlada nuevamente. esto demuestra que las áreas siguientes a Uniproceso no limitan la capacidad, sin embargo necesitan de un tiempo para procesar todo el producto listo en los Unitanques cuando estos, a causa que los tiempos de ocupación son variables se acumulan eventualmente.

- El tiempo de maduración está contemplado con un mínimo de 4 días y es cerca del 26% del tiempo total de proceso en un Unitanque (15.38 días). esto quiere decir que en condiciones normales, la cantidad de Unitanques en estado de maduración debe ser el 26% de los 31, es decir, mínimo 8 tanques. La variable que refiere a la cantidad de Unitanques en estado de maduración en la tabla 14 (variable 7) arrojó un promedio

ponderado a través de toda la simulación de 6.76, mientras que en la tabla 12 este valor es 6.85 (difiere debido a que no es un cálculo ponderado con el tiempo).

El 36.5% de las ocasiones del total de los 1,301 cambios de variable, hubo 8 o más Unitanques en maduración, es decir, el restante 63.5% no alcanzan a completar los 8 Unitanques, debido a que se filtran Unitanques sin cumplir el proceso de maduración por escasez de producto en los Tanques de Contrapresión.

- Aunque el área de embotellado se considera con una capacidad de 130.3 HI/h y 247 HI/h para la línea de envase 1 y para la línea de envase 2, respectivamente, éstas trabajan con una eficiencia mucho menor. Como se puede observar en las variables 23 y 24 de la tabla 14, la línea de envase 1 demora un tiempo promedio adicional de 77 minutos en desocupar un BBT, es decir, si un Tanque de Contrapresión que abastece la línea de envase 1 debe desocuparse en 9 horas 15 minutos, éste se está desocupando en 10 horas y media. De forma similar, un BBT que abastece la línea de envase 2, en vez de desocuparse en 4 horas 50 minutos, la línea 2 necesita 70 minutos adicionales para envasar los 1,200 HI salientes del tanque.

La demora adicional de envase hace que el flujo hacia la línea 1 en vez de ser 130.3 HI/h sea 114 HI/h y el flujo hacia la línea 2 en vez de ser 247 HI/ sea 200 HI/h. La suma de estos dos flujos da como resultado el flujo de absorción de Cerveza hacia el envase e igual a 314 HI/h, flujo menor que los 374 HI/h que maneja el Filtro. Esta ineficiencia del área de Envase produce un mayor acumulación de producto en los Tanques de Contrapresión. En casos en los que existe más de un Unitanque listo para filtrar y varios ciclos de filtración largos consecutivos, la ocupación de todos los BBT's causa un retraso promedio de 1.6 h en el área de Filtración.

De los análisis anteriores, se puede deducir que el tiempo ocioso de Cocinas se puede atribuir a tres causas:

- Primera, mientras todos los Unitanques se encontraban llenos, no hubo un solo Unitanque listo para filtrar y a su vez no había producto en los Tanques de

Contrapresión, en otras palabras, ningún Unitanque había culminado el tiempo de proceso y las áreas subsiguientes se encontraban escasas de producto.

- Segunda: A causa de ciclos cortos de filtración no se permitió un flujo mayor de Cerveza hacia los Tanques de Contrapresión mientras allí había uno o más BBT's disponibles y uno o más Unitanques se encontraban listos para filtrar.
- Tercera: los BBT's no se encontraban disponibles para el recibo de Cerveza, mientras ésta esperaba en el área de Filtración y había uno o más Unitanques listos.

Esto se resume en tres hipótesis: Uniproceso restringe la capacidad, el Filtro restringe la capacidad o entre los Tanques de Contrapresión y el Envase restringen la capacidad. De los anteriores análisis se ha demostrado que eventualmente los tiempos ociosos son ocasionados por la ocurrencia de más de una causa al mismo instante. Como se mencionó anteriormente, los tiempos de operación, los ciclos de filtración y tiempos de demora en el envase son valores aleatorios y siguen alguna distribución determinada, debido a esto es inevitable que haya acumulación de producto en las estaciones.

Tal como se demostró por medio del comportamiento de las diferentes variables de rendimiento se concluye que el Uniproceso limita la capacidad de la planta y por consiguiente esta área consiste en el cuello de botella de la Cervecería, no solo para el área de Cocinas sino también para Filtración y Envase.

Debido a la insuficiencia del Uniproceso, el área de Cocinas entra en tiempos de retraso que suman el total de 1,603 horas, se filtran Unitanques sin cumplir el total de maduración, se genera un promedio de 6.85 Unitanques en etapa de maduración cuando teóricamente deberían ser 8 y ocasiona que en 192 ocasiones (14.7% del total) no haya un solo Unitanque listo para filtrar.

Adicionalmente cabe resaltar que en situaciones en las que varios Unitanques terminan la maduración en tiempos similares, el Filtro necesita de un tiempo para procesar la Cerveza que allí se encuentra e inmediatamente el área de Filtración se convierte en la que limita la capacidad de las áreas anteriores, haciendo esperar el producto en las estaciones

donde ya ha culminado su tiempo de proceso sin permitir la disponibilidad de los Unitanques para el recibo de los cocimientos provenientes de Elaboración de mosto. Esta situación se presenta el 34% de las ocasiones, tal como se ve en la tabla 11 donde existen 3 o más Unitanques listos.

Finalmente cabe resaltar que la acumulación del producto o la inexistencia de éste en las áreas, más específicamente en Uniproceto y Filtración se debe principalmente a la alta aleatoriedad de los tiempos de proceso del producto en las distintas etapas.

Los ciclos y el caudal de filtración son vitales para determinar el flujo del producto. Cuando estos son muy cortos ocasiona el acumulamiento de Cerveza madura en los Unitanques, pero cuando estos son muy largos la capacidad en los Tanques de Contrapresión no da abasto generando un acumulamiento de Cerveza en el Filtro. La variabilidad en los tiempos de fermentación, enfriamiento y maduración de la Cerveza en los Unitanques definen en gran parte la eficiencia y la capacidad de la Cervecería, debido a que las unidades que se maneja en Uniproceto son en una escala mayor que en las otras áreas, cualquier variabilidad en el tiempo de proceso se convierte en un factor representativo para el rendimiento de las demás áreas.

9. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Una de las grandes ventajas de realizar proyectos de simulación es poder comparar sistemas diferentes con solo realizar cambios dentro de la programación del modelo actual.

Esta etapa consiste en realizar tres escenarios diferentes propuestos por el Director y los Ingenieros tutores de La Cervecería de Bucaramanga. Estos escenarios representan posibles proyectos a realizar con el objetivo de ampliar la capacidad de la planta. Los resultados arrojados por el modelo pueden ser un soporte fundamental para el proceso de la toma de decisiones.

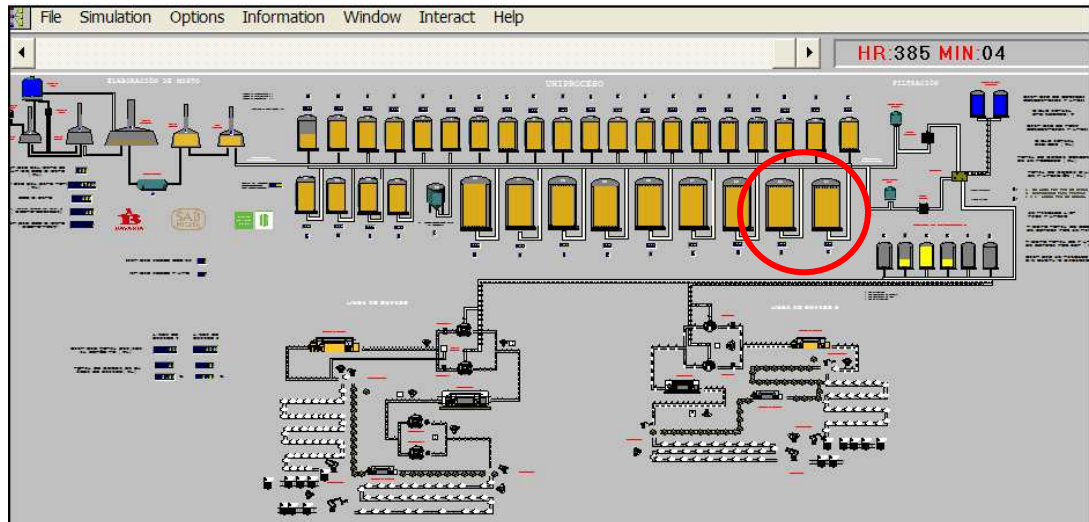
9.1. PRIMER ESCENARIO: INSTALACIÓN DE DOS UNITANQUES ADICIONALES

El propósito de la adición de dos Unitanques más consiste esencialmente en aumentar la capacidad del área de Uniproceso y regularizar el tiempo de maduración de la Cerveza, llevando al producto a obtener mejores índices de calidad. Se cree que con este cambio, el tiempo de espera en Cocinas a causa de incapacidad en el Uniproceso se reduzca, y la cantidad de Cerveza envasada aumente.

Los dos Unitanques fueron ubicados dentro del diseño del modelo para la planta, tal como se puede observar en la figura 41, y se programó el comportamiento de estos Unitanques de igual manera a como trabajan los demás.

Como todas las áreas dentro del sistema se encuentran de una u otra manera ligadas, se hicieron modificaciones en la programación en varias estaciones permitir el normal funcionamiento del modelo. Finalmente se verificó y se concluyó que el modelo para el primer escenario corría como se pretendía.

Figura 41. Vista general del modelo de simulación para el primer escenario



Fuente: Los Autores

El modelo para el escenario 1 se corrió durante los mismos periodos de tiempo que el modelo del sistema actual tal como se definió en el capítulo 6.2. Igualmente la depuración de los resultados se realizó como se describió en el capítulo 8.1. Las tabla 15, 16, 17 y 18 muestra los resultados obtenidos para las variables más representativas para el modelo de simulación del primer escenario.

Tabla 15. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del primer escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES LISTOS PARA FILTRAR | | |
|--|------|-------|
| Promedio | 2.49 | |
| Desviación | 1.72 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 9 | |
| Moda | 1 | |
| Cantidad de Valores 0 | 152 | 10.8% |
| Cantidad de Valores 1 | 315 | 22.3% |
| Cantidad de Valores 2 | 306 | 21.7% |
| Cantidad de Valores 3 | 261 | 18.5% |
| Cantidad de Valores 4 | 187 | 13.3% |
| Cantidad de Valores 5 | 113 | 8.0% |
| Cantidad de Valores 6 | 52 | 3.7% |
| Cantidad de Valores 7 | 16 | 1.1% |
| Cantidad de Valores 8 | 8 | 0.6% |
| Cantidad de Valores 9 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1411 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 16. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del primer escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES EN MADURACIÓN | | |
|--------------------------------------|------|-------|
| Promedio | 7.19 | |
| Desviación | 1.90 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 13 | |
| Moda | 7 | |
| Cantidad de Valores 0 | 1 | 0.1% |
| Cantidad de Valores 1 | 3 | 0.2% |
| Cantidad de Valores 2 | 8 | 0.6% |
| Cantidad de Valores 3 | 23 | 1.7% |
| Cantidad de Valores 4 | 63 | 4.6% |
| Cantidad de Valores 5 | 146 | 10.7% |
| Cantidad de Valores 6 | 243 | 17.8% |
| Cantidad de Valores 7 | 291 | 21.3% |
| Cantidad de Valores 8 | 258 | 18.9% |
| Cantidad de Valores 9 | 174 | 12.8% |
| Cantidad de Valores 10 | 97 | 7.1% |
| Cantidad de Valores 11 | 44 | 3.2% |
| Cantidad de Valores 12 | 12 | 0.9% |
| Cantidad de Valores 13 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1364 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 17. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del primer escenario

| CANTIDAD DE BBT'S OCUPADOS | | |
|----------------------------|------|-------|
| Promedio | 4.26 | |
| Desviación | 1.32 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 6 | |
| Moda | 5 | |
| Cantidad de Valores 0 | 51 | 1.3% |
| Cantidad de Valores 1 | 130 | 3.3% |
| Cantidad de Valores 2 | 217 | 5.5% |
| Cantidad de Valores 3 | 499 | 12.7% |
| Cantidad de Valores 4 | 1085 | 27.7% |
| Cantidad de Valores 5 | 1329 | 33.9% |
| Cantidad de Valores 6 | 605 | 15.4% |
| Suma | 3916 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 18. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el primer escenario

| VARIABLES | MES | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 Hora de Inicio | 833.33 | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 833.33 | 365 días |
| 2 Hora Final | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 9593.33 | 9593.33 | |
| 3 Cantidad de Cocimientos Totales | 271 | 270 | 278 | 267 | 261 | 260 | 279 | 252 | 272 | 267 | 267 | 255 | 3199 | |
| 4 Cantidad de Cocimientos Cerveza | 267 | 258 | 270 | 259 | 253 | 256 | 271 | 248 | 264 | 259 | 263 | 247 | 3115 | |
| 5 Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 4 | 12 | 8 | 8 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 8 | 4 | 8 | 84 | |
| 6 Cantidad Cocinada (HI) | 119,305 | 119,329 | 122,924 | 117,925 | 116,190 | 114,803 | 122,460 | 112,242 | 120,185 | 117,090 | 118,871 | 111,937 | 1,413,261 | |
| 7 Promedio Unitanques en Maduración | 7.38 | 7.22 | 7.1 | 7.33 | 6.63 | 7.5 | 6.96 | 7.12 | 7.34 | 6.84 | 6.97 | 7.27 | 7.14 | |
| 8 Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 1.73 | 2.32 | 1.63 | 2.07 | 2.6 | 2.15 | 2.24 | 2.28 | 2.25 | 1.85 | 2.75 | 2.75 | 2.22 | |
| 9 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (HI concentrados) | 2,713.85 | 2,600.09 | 2,621.62 | 2,631.26 | 2,549.74 | 2,373.58 | 2,585.58 | 2,609.10 | 2,416.93 | 2,650.36 | 2,631.61 | 2,521.91 | 2575.47 | |
| 10 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (HI concentrados) | 718.12 | 1,230.00 | 1,105.44 | 856.46 | 789.94 | 957.90 | 1,338.99 | 1,279.12 | 843.95 | 1,082.33 | 1,183.57 | 1,251.66 | 1053.12 | |
| 11 Cerveza Filtrada (HI) | 108,741 | 109,836 | 112,234 | 112,008 | 103,041 | 110,983 | 115,002 | 102,633 | 114,812 | 107,870 | 109,499 | 106,959 | 1,313,618 | |
| 12 Pony Filtrada (HI) | 3,654 | 3,679 | 3,677 | 5,520 | 3,663 | 1,834 | 3,696 | 1,802 | 3,670 | 3,665 | 1,829 | 3,691 | 40,380 | |
| 13 Merma Uniproceso (HI) | 4,734 | 4,780 | 4,885 | 4,884 | 4,461 | 4,854 | 5,016 | 4,440 | 4,985 | 4,678 | 4,756 | 4,652 | 57,125 | |
| 14 Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4.17 | 4.17 | 4.17 | 4.18 | 4.15 | 4.19 | 4.18 | 4.15 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.17 | 4.17 | |
| 15 Merma Filtración (HI) | 4,258 | 4,290 | 4,548 | 4,260 | 4,079 | 4,343 | 4,557 | 4,076 | 4,384 | 4,219 | 4,407 | 4,119 | 51,540 | |
| 16 Porcentaje Merma Filtración (%) | 2.35 | 2.34 | 2.43 | 2.28 | 2.38 | 2.35 | 2.38 | 2.38 | 2.29 | 2.35 | 2.41 | 2.31 | 2.35 | |
| 17 Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 9 | 4 | 11 | 7 | 4 | 7 | 9 | 8 | 9 | 9 | 7 | 3 | 87 | |
| 18 Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 95.71 | 96.2 | 55.3 | 103.06 | 73.92 | 145.37 | 63.09 | 105.39 | 102.82 | 92.74 | 85.19 | 139.11 | 1,157.90 | |
| 19 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 6.59 | 10.27 | 5.62 | 9.27 | 5.33 | 4.14 | 3.57 | 3.46 | 12.51 | 10.14 | 8.63 | 6.51 | 7.17 | |
| 20 Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 26.38 | 27.79 | 24.06 | 26.69 | 33.16 | 23.78 | 25.44 | 29.54 | 27.25 | 42.68 | 25.87 | 40.92 | 353.56 | |
| 21 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 1.68 | 1.31 | 0.97 | 1.66 | 1.7 | 1.09 | 0.96 | 1.51 | 1.35 | 1.61 | 1.24 | 1.68 | 1.40 | |
| 22 Promedio de BBT's Ocupados | 3.78 | 3.9 | 3.91 | 3.92 | 3.75 | 3.69 | 3.96 | 3.58 | 3.89 | 3.85 | 3.74 | 3.81 | 3.82 | |
| 23 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 75.86 | 78.8 | 75.15 | 74.01 | 76.14 | 76.88 | 74.51 | 74.03 | 79.57 | 69.88 | 74.98 | 68.66 | 74.87 | |
| 24 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 67.51 | 70.71 | 69.65 | 68.88 | 71.4 | 69.2 | 69.24 | 67.43 | 68.3 | 70.5 | 68.98 | 70.28 | 69.34 | |
| 25 Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 51 | |
| 26 Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 51 | |
| 27 Merma Línea de Envase 1 (HI) | 1,625.00 | 1,605.00 | 1,734.00 | 1,689.00 | 1,551.00 | 1,638.00 | 1,681.00 | 1,609.00 | 1,638.00 | 1,576.00 | 1,619.00 | 1,603.00 | 19568 | |
| 28 Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2.37 | 2.37 | 2.34 | 2.35 | 2.36 | 2.38 | 2.35 | 2.38 | 2.35 | 2.37 | 2.37 | 2.37 | 2.36 | |
| 29 Merma Línea de Envase 2 (HI) | 2,567.00 | 2,693.00 | 2,773.00 | 2,664.00 | 2,598.00 | 2,595.00 | 2,827.00 | 2,470.00 | 2,708.00 | 2,691.00 | 2,734.00 | 2,583.00 | 31903 | |
| 30 Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2.24 | 2.27 | 2.29 | 2.29 | 2.28 | 2.29 | 2.30 | 2.29 | 2.26 | 2.30 | 2.30 | 2.29 | 2.28 | |
| 31 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (HI) | 66,891 | 66,214 | 72,445 | 70,158 | 64,261 | 67,107 | 69,775 | 65,993 | 68,123 | 64,794 | 66,569 | 65,996 | 808,326 | |
| 32 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (HI) | 112,229 | 115,814 | 118,348 | 113,666 | 111,237 | 110,562 | 120,177 | 105,356 | 116,914 | 114,310 | 116,270 | 110,097 | 1,364,980 | |
| 33 Cantidad Total Enviada al Depósito (HI) | 179,120 | 182,028 | 190,793 | 183,824 | 175,498 | 177,669 | 189,952 | 171,349 | 185,037 | 179,104 | 182,839 | 176,093 | 2,173,306 | |

Fuente: Los Autores

9.1.1. Análisis de los resultados del primer escenario

La tabla de resultados para el primer escenario muestra que el modelo simuló 365 días de producción. Allí se muestra que el sistema con la implementación de dos Unitanques más cocinaría 3,199 cochadas (variable 3), distribuidas en 3,115 de Cerveza y 84 de Pony Malta, las cuales suman un total de 1'413,261 HI concentrados (variable 6). Se filtrarían 1'313,618 HI de Cerveza concentrada y 40,380 de Pony Malta concentrada en ciclos promedio de 2,575 HI y 1,053 HI, para cada referencia respectivamente. La cantidad total enviada al Depósito sería 808,326 HI desde el salón de embotellado 1 (Costeñita) y 1'364,980 desde el salón de embotellado 2 (Águila y Pony Malta), lo que suma un total de 2'173,306 HI (variable 33) producidos en un año. También se obtendría un 4.17% de merma en Uniproceso, 2.35% de merma en filtración y 2.36% y 2.28% de merma para la línea de envase 1 y línea de envase 2, respectivamente.

Respecto a las variables que miden la capacidad y eficiencia de la planta se puede concluir que el escenario 1 generaría los siguientes resultados:

- El área de Cocinas se detendría un tiempo total de 1,157 horas o 48.2 días (variable 18) debido a inexistencia de un Unitanque libre para el recibo de los cocimientos. Equivale a la suma de 126 retrasos (ver archivo de anexo V hoja ESCENARIO 1) los cuales generan un promedio de 7.17 h/retraso. Asumiendo que Cocinas produciría 58 cochadas semanales de a 440 HI cada una, se dejarían de producir 400 cocimientos o 176,000 HI concentrados en un año debido a incapacidad en el área de Uniproceso.
- Al llevarse a cabo el escenario 1 se espera que el retraso total en el área de Filtración debido a la ocupación de todos los BBT's sea igual a 353 horas. Considerando que los ciclos del Filtro permitan un rendimiento de 90% y que en un 80% de este tiempo exista al menos un Unitanque abasteciendo filtración, se obtendría un retraso efectivo de 254.16 horas. Asumiendo un flujo de 374 HI/h, se puede concluir que con el tiempo de retraso total se dejarían de filtrar 95,055 HI de producto concentrado o 158,460 HI de producto diluido.

- El total de Unitanques que no completarían su proceso de maduración sería 87, esto quiere decir que aun así se ampliara la capacidad del Uniproceto, habría ocasiones en las que se necesite desocupar un tanque que no se encuentre listo debido a la escasez de producto en las áreas siguientes.
- Eventualmente se acumularía producto listo en los Unitanques esperando que Filtración lo procese y esta situación produciría retrasos casuales en Cocinas siempre y cuando todos los Unitanques se encuentren llenos. Como se puede ver en la tabla 15, más del 45% de las ocasiones existirían 3 o más Unitanques esperando que la Cerveza en su interior sea filtrada. Es decir que el Filtro, a pesar que al final terminaría controlando el número de Unitanques listos, al momento que estos se acumulen le toma un tiempo considerable procesar todo el producto allí contenido.
- Un promedio de 4.26 Tanques de Contrapresión estarían ocupados a lo largo del año tal como lo muestra la tabla 17. Sabiendo que los Tanques de Contrapresión incurren en 2 horas de limpieza, los retrasos en filtración ocasionados por contrapresión se pueden presentar teniéndose 5 BBT's ocupados. La tabla 17 muestra que el 49.4% de los registros hubo al menos 5 Tanques de Contrapresión ocupados, esto demuestra que para situaciones en las que ciclos largos de filtración y varios Unitanques listos para el abastecimiento causarían parálisis de producto en el Filtro en espera de algún BBT disponible.

Se puede concluir respecto al escenario 1 que a pesar del aumento en la capacidad de la Cervecería en 6.6%, aún existirían áreas críticas que reducen la eficiencia de la planta. El tiempo de retraso en Cocinas demuestra que la instalación de dos tanques más en Uniproceto no es suficiente para el proceso de todos los cocimientos. Adicionalmente, el área de Filtración necesitaría aumentar su flujo o aumentar las amplitudes de los ciclos para procesar toda aquella Cerveza madura que se pueda acumular en los Unitanques. Finalmente, para que los Tanques de Contrapresión actúen más como tanques buffer del área de embotellado en vez de actuar como un área que limita la salida de Cerveza en Filtración se necesitará la instalación de mínimo un BBT adicional.

9.2. SEGUNDO ESCENARIO: UN FLUJO EN EL FILTRO 1.67 VECES MAYOR

El área de Filtración es considerada un área que limita la capacidad en momentos en los que se acumulen 3 o más Unitanques los cuales la Cerveza en su interior ya ha cumplido con el proceso de maduración. Se espera que un flujo mayor en filtración permita agilizar el vaciado de estos Unitanques y el envío de esta Cerveza al envase. Así se aumentaría la rotación de inventario en proceso, dinamizando aún más el área de Cocinas y aumentando la cantidad de Cerveza envasada y enviada al Depósito.

En el sistema real, el flujo del Filtro de Cerveza es de 460 HI/h al comienzo del ciclo y este valor se va reduciendo a medida que se va filtrando mayor cantidad de Cerveza hasta llegar a un flujo cercano a los 250 HI/h. Para la construcción del modelo se asumió un flujo fijo de 374 HI/h a través de todo el ciclo. Al aumentar este flujo 1.67 veces, se obtendría un flujo de 624.6 HI/h.

Para la programación del modelo del escenario 2, bastó con cambiar tanto la velocidad de la tubería que transporta la Cerveza desde el Uniproceto hasta filtración como la velocidad de la tubería que lleva el agua desaireada de los tanques de almacenamiento al Carboblend para la dilución. La velocidad de la tubería saliente de Uniproceto a filtración dentro del modelo para sistema actual es de 30 mpm (metros por minuto) y va acorde al caudal 374 HI/h, la nueva velocidad para el modelo del escenario 2 es de 49.8 mpm, estando esta calculada con respecto al flujo de 624,6 HI/h.

La depuración de los resultados del presente escenario se realizó de igual manera que para el escenario anterior y el sistema actual. Las tablas 19, 20, 21 y 22 fueron creadas para un mejor análisis de la información arrojada por el modelo.

Tabla 19. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del segundo escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES LISTOS PARA FILTRAR | | |
|--|------|-------|
| Promedio | 2.23 | |
| Desviación | 1.73 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 9 | |
| Moda | 1 | |
| Cantidad de Valores 0 | 197 | 14.7% |
| Cantidad de Valores 1 | 354 | 26.4% |
| Cantidad de Valores 2 | 287 | 21.4% |
| Cantidad de Valores 3 | 208 | 15.5% |
| Cantidad de Valores 4 | 140 | 10.4% |
| Cantidad de Valores 5 | 91 | 6.8% |
| Cantidad de Valores 6 | 41 | 3.1% |
| Cantidad de Valores 7 | 17 | 1.3% |
| Cantidad de Valores 8 | 6 | 0.4% |
| Cantidad de Valores 9 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1342 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 20. Estadísticas para la variable "Cantidad de Unitanques en maduración" en la simulación del segundo escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES EN MADURACION | | |
|--------------------------------------|------|-------|
| Promedio | 6.93 | |
| Desviación | 2.17 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 14 | |
| Moda | 7 | |
| Cantidad de Valores 0 | 1 | 0.1% |
| Cantidad de Valores 1 | 6 | 0.5% |
| Cantidad de Valores 2 | 18 | 1.4% |
| Cantidad de Valores 3 | 48 | 3.7% |
| Cantidad de Valores 4 | 102 | 7.9% |
| Cantidad de Valores 5 | 160 | 12.3% |
| Cantidad de Valores 6 | 205 | 15.8% |
| Cantidad de Valores 7 | 231 | 17.8% |
| Cantidad de Valores 8 | 214 | 16.5% |
| Cantidad de Valores 9 | 168 | 13.0% |
| Cantidad de Valores 10 | 91 | 7.0% |
| Cantidad de Valores 11 | 30 | 2.3% |
| Cantidad de Valores 12 | 15 | 1.2% |
| Cantidad de Valores 13 | 6 | 0.5% |
| Cantidad de Valores 14 | 2 | 0.2% |
| Suma | 1297 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 21. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del segundo escenario

| CANTIDAD DE BBT'S OCUPADOS | | |
|----------------------------|------|-------|
| Promedio | 4.39 | |
| Desviación | 1.41 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 6 | |
| Moda | 5 | |
| Cantidad de Valores 0 | 50 | 1.4% |
| Cantidad de Valores 1 | 142 | 3.9% |
| Cantidad de Valores 2 | 222 | 6.1% |
| Cantidad de Valores 3 | 365 | 10.1% |
| Cantidad de Valores 4 | 765 | 21.1% |
| Cantidad de Valores 5 | 1313 | 36.2% |
| Cantidad de Valores 6 | 773 | 21.3% |
| Suma | 3630 | 100% |

Fuente: Los Autores

9. 2.1. Análisis de los resultados del segundo escenario

Según la simulación, en un año de producción utilizando un Filtro que permita el flujo de 624.6 HI/h se cocinarían 3,002 cochadas, constituidas por 2,914 de Cerveza y el restante de Pony Malta, se filtrarían 1´232,517 HI concentrados de bebida alcohólica y 42,405 HI concentrados de Pony Malta. La producción total de la planta sería de 2´043,518 HI, donde el 62. 07% está constituido entre Cerveza Águila y Pony Malta y el restante 37.93% por Cerveza Costeñita.

De instalar un Filtro que maneje un flujo 1.67 veces mayor al actual arrojaría los siguientes resultados:

- El tiempo ocioso por parálisis en el área de Cocinas debido a incapacidad en Uniprocso acumularía un total de 1,547 horas con un promedio de 12.86 h/retraso, es decir, durante 64.45 días Elaboración de mosto se encontraría inactiva (17.5% del total anual). Durante este tiempo se dejarían de cocinar 506 cocimientos o 222,840 HI de Cerveza concentrada en un año.

Tabla 22. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el segundo escenario

| VARIABLES | MES | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 Hora de Inicio | 833.33 | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 833.33 | 365 días |
| 2 Hora Final | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 9593.33 | 9593.33 | |
| 3 Cantidad de Cocimientos Totales | 243 | 240 | 260 | 248 | 240 | 260 | 248 | 242 | 261 | 240 | 269 | 251 | 3002 | |
| 4 Cantidad de Cocimientos Cerveza | 239 | 232 | 252 | 240 | 232 | 252 | 244 | 234 | 253 | 232 | 261 | 243 | 2914 | |
| 5 Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 88 | |
| 6 Cantidad Cocinada (HI) | 106,450 | 106,075 | 114,998 | 110,471 | 106,108 | 113,976 | 110,438 | 106,912 | 114,484 | 106,947 | 118,932 | 109,619 | 1,325,410 | |
| 7 Promedio Unitanques en Maduración | 7.22 | 6.71 | 6.64 | 6.71 | 7.11 | 6.39 | 7.23 | 6.61 | 6.72 | 6.89 | 6.88 | 6.75 | 6.82 | |
| 8 Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 2.29 | 1.75 | 1.87 | 1.55 | 1.61 | 1.54 | 1.46 | 1.65 | 1.66 | 1.14 | 1.36 | 1.12 | 1.58 | |
| 9 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (HI concentrados) | 2,843.25 | 2,524.31 | 2,421.32 | 2,315.34 | 2,360.23 | 2,600.01 | 2,917.14 | 2,769.84 | 2,520.49 | 2,799.41 | 2,754.15 | 2,506.82 | 2611.03 | |
| 10 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (HI concentrados) | 624.86 | 1,190.26 | 936.82 | 723.15 | 840.69 | 1,292.81 | 1,298.14 | 1,150.61 | 923.72 | 897.91 | 1,245.59 | 1,156.87 | 1023.45 | |
| 11 Cerveza Filtrada (HI) | 102,121 | 96,605 | 105,998 | 101,558 | 103,802 | 101,258 | 103,093 | 96,903 | 108,138 | 103,194 | 104,791 | 105,056 | 1,232,517 | |
| 12 Pony Filtrada (HI) | 3,669 | 3,701 | 1,845 | 3,711 | 3,681 | 3,671 | 3,692 | 3,680 | 3,702 | 3,692 | 3,686 | 3,675 | 42,405 | |
| 13 Merma Uniproceso (HI) | 4,446 | 4,193 | 4,635 | 4,422 | 4,543 | 4,408 | 4,494 | 4,206 | 4,721 | 4,464 | 4,558 | 4,578 | 53,668 | |
| 14 Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4.17 | 4.16 | 4.19 | 4.17 | 4.19 | 4.17 | 4.18 | 4.16 | 4.18 | 4.15 | 4.17 | 4.18 | 4.17 | |
| 15 Merma Filtración (HI) | 3,922 | 3,828 | 4,225 | 3,956 | 4,022 | 4,008 | 4,045 | 3,875 | 4,183 | 4,003 | 4,245 | 3,945 | 48,257 | |
| 16 Porcentaje Merma Filtración (%) | 2.30 | 2.38 | 2.39 | 2.34 | 2.32 | 2.37 | 2.35 | 2.40 | 2.32 | 2.33 | 2.43 | 2.25 | 2.35 | |
| 17 Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 7 | 8 | 7 | 3 | 4 | 10 | 8 | 8 | 11 | 12 | 14 | 13 | 105 | |
| 18 Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 153.54 | 153.83 | 96.51 | 135.24 | 148.68 | 108.57 | 132.41 | 125.86 | 126.9 | 136.6 | 75.9 | 153.03 | 1,547.07 | |
| 19 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 21.72 | 10.21 | 14.24 | 19.66 | 16.14 | 15.48 | 13.09 | 6 | 7.37 | 8.07 | 8.17 | 14.15 | 12.86 | |
| 20 Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 90.07 | 85.9 | 117.78 | 81.51 | 102.27 | 87.25 | 109.42 | 97.17 | 86.08 | 88.82 | 77.35 | 70.08 | 1093.7 | |
| 21 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 2.09 | 1.88 | 2.35 | 1.84 | 3.06 | 2.05 | 2.77 | 1.77 | 1.93 | 2 | 2.91 | 1.82 | 2.21 | |
| 22 Promedio de BBT's Ocupados | 3.75 | 3.69 | 3.88 | 3.78 | 3.8 | 3.76 | 3.83 | 3.71 | 3.81 | 3.79 | 3.85 | 3.7 | 3.78 | |
| 23 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 78.19 | 69.1 | 72.75 | 74.47 | 70.43 | 75.15 | 70.21 | 75.56 | 76.18 | 74.2 | 69.85 | 74.83 | 73.41 | |
| 24 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 69.69 | 70.32 | 69.22 | 70.22 | 69.16 | 68.95 | 72.16 | 71.43 | 68.39 | 71.53 | 71.39 | 69.94 | 70.20 | |
| 25 Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 50 | |
| 26 Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 52 | |
| 27 Merma Línea de Envase 1 (HI) | 1,566 | 1,526 | 1,565 | 1,593 | 1,503 | 1,549 | 1,521 | 1,484 | 1,574 | 1,532 | 1,689 | 1,612 | 18714 | |
| 28 Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2.37 | 2.34 | 2.37 | 2.35 | 2.35 | 2.34 | 2.35 | 2.35 | 2.35 | 2.35 | 2.38 | 2.39 | 2.36 | |
| 29 Merma Línea de Envase 2 (HI) | 2,436 | 2,261 | 2,581 | 2,374 | 2,490 | 2,468 | 2,521 | 2,405 | 2,613 | 2,491 | 2,555 | 2,417 | 29612 | |
| 30 Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2.31 | 2.26 | 2.28 | 2.26 | 2.27 | 2.28 | 2.29 | 2.29 | 2.30 | 2.28 | 2.27 | 2.28 | 2.28 | |
| 31 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (HI) | 64,503 | 63,695 | 64,600 | 66,259 | 62,492 | 64,566 | 63,253 | 61,585 | 65,276 | 63,765 | 69,289 | 65,923 | 775,206 | |
| 32 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (HI) | 102,911 | 97,594 | 110,652 | 102,576 | 107,257 | 105,781 | 107,626 | 102,705 | 111,200 | 106,629 | 110,005 | 103,376 | 1,268,312 | |
| 33 Cantidad Total Enviada al Depósito (HI) | 167,414 | 161,289 | 175,252 | 168,835 | 169,749 | 170,347 | 170,879 | 164,290 | 176,476 | 170,394 | 179,294 | 169,299 | 2,043,518 | |

Fuente: Los Autores

- El área de Filtración necesitaría detener sus actividades durante un total de 1,093 horas acumuladas considerando un promedio de 2.21 h/retraso debido la inexistencia de BBT's disponibles para el recibo de la Cerveza. Asumiendo que el 80% del tiempo total de retraso los ciclos del Filtro permitan el flujo de producto y el 70% de éste exista al menos un Unitanque listo, da como resultado un tiempo real de retraso de 612 horas, tiempo con el cual se pudieran filtrar 382,305 HI de Cerveza concentrada o 637,300 HI de Cerveza diluida.
- Como se puede observar en la tabla 21, cerca del 57% de las observaciones los BBT's trabajarían al casi 100% de su capacidad (entre 5 y 6 BBT's ocupados), situaciones en las cuales se puede producir una detención del flujo de la Cerveza saliente del Uniproceto. Por lo tanto, es demostrable que 6 BBT's no dan abasto para la cantidad entrante de producto proveniente del Filtro para este escenario.
- La tabla 19 muestra que el 37.6% de las observaciones habrían al menos 3 Unitanques listos para filtrar, esto quiere decir que la Cerveza ocasionalmente debe esperar en el Unitanque luego de haber cumplido el tiempo de maduración debido a la acumulación de Cerveza en las líneas del Filtro proveniente de otro Unitanque, esta acumulación principalmente se debe a la no disponibilidad de un Tanque de Contrapresión para el almacenamiento. Se concluye que a pesar del objetivo de filtrar la Cerveza en una fracción de tiempo menor para liberar los Unitanques más rápidamente, muchas veces no sería posible evitar el acumulamiento de producto a causa de la incapacidad de las áreas siguientes.
- Los resultados demuestran que así como habrían temporadas en las que se acumula producto en las líneas y en las estaciones, se puede observar que existirían otras de escasez y por consiguiente sería necesario interrumpir el proceso de maduración de la Cerveza en ciertos Unitanques. Como soporte de este análisis se puede observar la variable 17 de la tabla 22, donde se muestra que en un año de producción un total de 105 Unitanques no alcanzarían a cumplir la etapa de maduración. Adicionalmente, en la tabla 20 se puede observar que el promedio de Unitanques en estado de

maduración sería de 6.93, donde este valor debería ser mínimo 8, tal como se explicó en el análisis de los resultados del modelo para el sistema actual.

Todo lo anterior demuestra que al considerar un flujo de producto entre Uniproceto y Filtración de 624.6 HI/h, generaría que los Unitanques sean desocupados más rápidamente, sin embargo, esto ocasionaría una acumulación de producto en el área de Filtración y en una gran cantidad de ocasiones no se cumpliría el objetivo principal. Tal como se mencionó anteriormente, la salida de los BBT's hacia el área de embotellado maneja un flujo real y constante de 314 HI/h, pero si la entrada a los Tanques de Contrapresión es de 624.6 HI/h, la Cerveza diluida coparía la capacidad de los BBT's con tan solo se filtraran 3 Unitanque seguidos. Por lo tanto, se puede concluir que al adicionar un flujo en el Filtro de 1.67 veces el actual produciría una mayor ineficiencia en el área de Filtración, más específicamente en los Tanques de Contrapresión.

9.3. TERCER ESCENARIO: COCIMIENTOS DE 470 HI

El tercer escenario consiste en el aumento de la cantidad saliente de mosto del área de Cocinas por cocimiento. En la actualidad un cocimiento está conformado por un promedio de 445 HI y se desea cambiar dicha cantidad a un promedio de 470 HI por cocimiento e igual variabilidad.

Con 35 HI más por cocimiento, un Unitanque de capacidad de 4 cocimientos pasaría de estar ocupado por unos 1,770 HI a tener 1,910 HI y aquellos con capacidad de 6 cocimientos pasarían de contener 2,650 HI a almacenar 2,790 HI. A pesar del cambio de las cantidades en cada uno de los Unitanques los tiempos de fermentación, enfriamiento y maduración se mantienen igual al sistema actual. Este cambio pretende aumentar la capacidad de Uniproceto con tan solo un incremento en las proporciones de materia prima en el área de Elaboración de mosto.

Para la programación de este escenario, se tomó el modelo base que representa el sistema actual y bastó con cambiar la distribución que señala la cantidad que debe salir por cocimiento en la olla whirlpool. Concluido el cambio se corrió el modelo en igualdad de

condiciones a los otros escenarios. Las tablas 23, 24, 25 y 26, representan los resultados arrojados por el programa para el tercer escenario.

Tabla 23. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques listos para filtrar” en la simulación del tercer escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES LISTOS PARA FILTRAR | | |
|--|------|-------|
| Promedio | 2.43 | |
| Desviación | 1.60 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 8 | |
| Moda | 2 | |
| Cantidad de Valores 0 | 140 | 10.4% |
| Cantidad de Valores 1 | 293 | 21.8% |
| Cantidad de Valores 2 | 306 | 22.8% |
| Cantidad de Valores 3 | 272 | 20.2% |
| Cantidad de Valores 4 | 184 | 13.7% |
| Cantidad de Valores 5 | 99 | 7.4% |
| Cantidad de Valores 6 | 41 | 3.0% |
| Cantidad de Valores 7 | 9 | 0.7% |
| Cantidad de Valores 8 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1345 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 24. Estadísticas para la variable “Cantidad de Unitanques en maduración” en la simulación del tercer escenario

| CANTIDAD DE UNITANQUES EN MADURACION | | |
|--------------------------------------|------|-------|
| Promedio | 6.90 | |
| Desviación | 1.79 | |
| Mínimo | 1 | |
| Máximo | 13 | |
| Moda | 7 | |
| Cantidad de Valores 0 | 0 | 0.0% |
| Cantidad de Valores 1 | 1 | 0.1% |
| Cantidad de Valores 2 | 10 | 0.8% |
| Cantidad de Valores 3 | 29 | 2.2% |
| Cantidad de Valores 4 | 64 | 4.9% |
| Cantidad de Valores 5 | 166 | 12.8% |
| Cantidad de Valores 6 | 272 | 20.9% |
| Cantidad de Valores 7 | 284 | 21.8% |
| Cantidad de Valores 8 | 237 | 18.2% |
| Cantidad de Valores 9 | 149 | 11.5% |
| Cantidad de Valores 10 | 58 | 4.5% |
| Cantidad de Valores 11 | 20 | 1.5% |
| Cantidad de Valores 12 | 9 | 0.7% |
| Cantidad de Valores 13 | 1 | 0.1% |
| Suma | 1300 | 100% |

Fuente: Los Autores

Tabla 25. Estadísticas para la variable “Cantidad de BBT’s ocupados” en la simulación del tercer escenario

| CANTIDAD DE BBT'S OCUPADOS | | |
|----------------------------|------|-------|
| Promedio | 4.46 | |
| Desviación | 1.31 | |
| Mínimo | 0 | |
| Máximo | 6 | |
| Moda | 5 | |
| Cantidad de Valores 0 | 39 | 1.0% |
| Cantidad de Valores 1 | 110 | 2.8% |
| Cantidad de Valores 2 | 184 | 4.7% |
| Cantidad de Valores 3 | 416 | 10.7% |
| Cantidad de Valores 4 | 925 | 23.7% |
| Cantidad de Valores 5 | 1391 | 35.6% |
| Cantidad de Valores 6 | 839 | 21.5% |
| Suma | 3904 | 100% |

Fuente: Los Autores

9.3.1. Análisis de los resultados del tercer escenario

La tabla 26 muestra los resultados para 365 días de producción considerando cocimientos de 470 HI cada uno. El simulador muestra que adoptando este cambio en el proceso se realizarían 2,977 cocimientos, constituidos por 2,893 de Cerveza y 84 de Pony Malta con una cantidad total cocinada de 1'395,726 HI concentrados. Se filtrarían 1'302,945 HI de Cerveza concentrada y 40,489 HI de Pony Malta Concentrada en un promedio de 2,542 HI/ciclo y 1,012 HI/ciclo en cada Filtro respectivamente. Se enviaría al Depósito una cantidad total diluida de 2'151,112 HI, cantidad dividida en 802,039 HI de Costeñita y 1'349,073 HI entre Águila y Pony Malta.

Respecto a las variables de rendimiento el modelo arrojó los siguientes resultados:

- Un total de 1,592 horas sumaría la inactividad en el área de Cocinas por la inexistencia de un Unitanque disponible para el recibo del mosto, el promedio del tiempo ocioso sería de 7.31 h/retraso. Durante este tiempo perdido se podrían cocinar 521 cochadas que producirían 245.000 HI de mosto concentrado.

Tabla 26. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el tercer escenario

| VARIABLES | MES | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 Hora de Inicio | 833.33 | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 833.33 | 365 días |
| 2 Hora Final | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 9593.33 | 9593.33 | |
| 3 Cantidad de Cocimientos Totales | 240 | 254 | 245 | 243 | 240 | 254 | 243 | 259 | 244 | 247 | 256 | 252 | 2977 | |
| 4 Cantidad de Cocimientos Cerveza | 236 | 246 | 237 | 239 | 232 | 246 | 235 | 251 | 236 | 239 | 252 | 244 | 2893 | |
| 5 Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 4 | 8 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 8 | 84 | |
| 6 Cantidad Cocinada (Hl) | 111,721 | 118,703 | 116,337 | 114,013 | 111,671 | 120,175 | 112,954 | 121,553 | 114,405 | 115,798 | 119,607 | 118,789 | 1,395,726 | |
| 7 Promedio Unitanques en Maduración | 6.87 | 6.91 | 7.09 | 6.2 | 6.97 | 6.78 | 6.76 | 6.6 | 6.96 | 6.52 | 7.19 | 6.75 | 6.80 | |
| 8 Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 2.53 | 2.01 | 2.24 | 3.1 | 2.74 | 2.04 | 1.79 | 1.9 | 1.74 | 2.16 | 1.64 | 1.81 | 2.14 | |
| 9 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (Hl concentrados) | 2,488.11 | 2,458.49 | 2,832.56 | 2,712.05 | 2,525.74 | 2,517.45 | 2,659.49 | 2,469.15 | 2,402.47 | 2,314.83 | 2,709.73 | 2,420.70 | 2542.56 | |
| 10 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (Hl concentrados) | 928.15 | 805.36 | 902.20 | 1,064.11 | 864.10 | 750.17 | 695.93 | 1,202.29 | 1,065.14 | 1,372.02 | 1,229.59 | 1,274.40 | 1012.79 | |
| 11 Cerveza Filtrada (Hl) | 107,911 | 109,713 | 108,084 | 103,586 | 106,963 | 111,504 | 105,206 | 114,340 | 106,047 | 107,397 | 111,221 | 110,973 | 1,302,945 | |
| 12 Pony Filtrada (Hl) | 3,682 | 3,684 | 1,838 | 3,677 | 3,656 | 3,680 | 1,851 | 3,704 | 3,680 | 3,653 | 3,707 | 3,677 | 40,489 | |
| 13 Merma Uniproceso (Hl) | 4,685 | 4,765 | 4,687 | 4,510 | 4,660 | 4,864 | 4,572 | 4,989 | 4,589 | 4,689 | 4,855 | 4,820 | 56,685 | |
| 14 Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.17 | 4.17 | 4.18 | 4.16 | 4.18 | 4.15 | 4.18 | 4.18 | 4.16 | 4.17 | |
| 15 Merma Filtración (Hl) | 4,119 | 4,352 | 4,251 | 4,143 | 4,100 | 4,356 | 4,231 | 4,341 | 4,236 | 4,119 | 4,367 | 4,390 | 51,005 | |
| 16 Porcentaje Merma Filtración (%) | 2.29 | 2.42 | 2.36 | 2.40 | 2.30 | 2.34 | 2.41 | 2.28 | 2.40 | 2.30 | 2.36 | 2.37 | 2.35 | |
| 17 Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 1 | 9 | 7 | 4 | 7 | 6 | 12 | 2 | 11 | 6 | 12 | 4 | 81 | |
| 18 Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 162.37 | 126.59 | 143 | 109.11 | 181.89 | 119.16 | 136.41 | 118.45 | 128.11 | 138.02 | 119.75 | 109.34 | 1,592.20 | |
| 19 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 4.7 | 4.93 | 10.88 | 6.4 | 16.23 | 7.61 | 6.11 | 7.77 | 7.35 | 5.47 | 5.38 | 4.87 | 7.31 | |
| 20 Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 42.88 | 24.72 | 37.77 | 31.93 | 37.24 | 35.31 | 32.06 | 35.07 | 27.46 | 38.62 | 23.67 | 28.65 | 395.38 | |
| 21 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 1.83 | 1.43 | 1.59 | 1.18 | 1.54 | 1.56 | 1.52 | 1.48 | 1.41 | 1.27 | 1.35 | 1.26 | 1.45 | |
| 22 Promedio de BBT's Ocupados | 3.78 | 3.86 | 3.71 | 3.79 | 3.67 | 3.95 | 3.66 | 3.97 | 3.73 | 3.73 | 3.83 | 3.9 | 3.80 | |
| 23 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 74.7 | 76.23 | 71.43 | 73.43 | 69.34 | 80.81 | 76.33 | 73.94 | 78.35 | 74.48 | 80.71 | 75.35 | 75.43 | |
| 24 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 69.22 | 69.8 | 69.79 | 70.52 | 67.35 | 68.44 | 69.32 | 69.75 | 68.94 | 68.98 | 70.35 | 71.46 | 69.49 | |
| 25 Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 52 | |
| 26 Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 52 | |
| 27 Merma Línea de Envase 1 (Hl) | 1,569 | 1,709 | 1,613 | 1,564 | 1,628 | 1,644 | 1,540 | 1,672 | 1,527 | 1,621 | 1,633 | 1,660 | 19,380 | |
| 28 Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2.36 | 2.38 | 2.34 | 2.37 | 2.39 | 2.35 | 2.34 | 2.37 | 2.34 | 2.33 | 2.36 | 2.38 | 2.36 | |
| 29 Merma Línea de Envase 2 (Hl) | 2,571 | 2,630 | 2,522 | 2,620 | 2,504 | 2,670 | 2,605 | 2,696 | 2,705 | 2,505 | 2,743 | 2,707 | 31,478 | |
| 30 Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2.28 | 2.29 | 2.27 | 2.28 | 2.29 | 2.25 | 2.30 | 2.28 | 2.30 | 2.26 | 2.28 | 2.28 | 2.28 | |
| 31 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (Hl) | 64,835 | 70,207 | 67,278 | 64,474 | 66,526 | 68,279 | 64,279 | 68,900 | 63,793 | 68,025 | 67,484 | 67,959 | 802,039 | |
| 32 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (Hl) | 110,231 | 112,063 | 108,709 | 112,189 | 106,692 | 116,100 | 110,895 | 115,518 | 114,770 | 108,217 | 117,559 | 116,130 | 1,349,073 | |
| 33 Cantidad Total Enviada al Depósito (Hl) | 175,066 | 182,270 | 175,987 | 176,663 | 173,218 | 184,379 | 175,174 | 184,418 | 178,563 | 176,242 | 185,043 | 184,089 | 2,151,112 | |

Fuente: Los Autores

- La tabla 26 muestra que en el área de Filtración se contabilizarían parálisis en el flujo del Filtro que sumarían 395 horas en un año. Estas parálisis no permitirían la filtración de 106,400 HI de Cerveza concentrada o cerca de 177,370 HI diluidos. Este tiempo de retraso se debe a la cantidad insuficiente de Tanques de Contrapresión para situaciones en las que se encuentren varios Unitanques listos para filtrar y existan ciclos largos de filtración.
- Respecto a los Tanques de Contrapresión se puede observar que se generaría un promedio de ocupación de 4.46 (ver tabla 25), lo que corresponde a un 74% de los 6 totales. Un 57.1% del total de las observaciones se encontrarían entre 5 y 6 BBT's ocupados, dato que se considera alto ya que en estos casos es cuando ocurren los retrasos en Filtración.
- En un año de producción se filtraría un total de 81 Unitanques que no cumplirían el tiempo total de maduración, tal como se muestra en la tabla 26. Es decir, habrían 81 ocasiones en las que habría 2 o menos Tanques de Contrapresión ocupados, el área de Filtración estaría ociosa y no existiría un solo Unitanque listo para desocupar, por consiguiente, se activaría el sistema pull de tal manera que se interrumpiría el proceso de maduración en los Unitanques con el objetivo de satisfacer las áreas subsiguientes para no detener la producción.
- Un promedio de 2.43 Unitanques estarían listos para filtrar, dato que contempla una alta variabilidad (1.6) como se muestra en la tabla 23. El 45.1% de las observaciones existirían mínimo 3 Unitanques con Cerveza totalmente madura que se acumulan esperando a que el área de Filtración procese esta cantidad. Esto concluye que el Filtro no tendría una respuesta rápida para el proceso de la cantidad acumulada en los Unitanques, ocasionando que Uniproceso incurra en tiempos de retraso debido a bloqueo. Adicionalmente, el 10% de las observaciones muestra que no existiría Cerveza madura dentro de los Unitanques listos para filtrar, valor que muestra una deficiencia en el área de Uniproceso respecto a sus áreas inmediatas.

- El 63.5% de las observaciones contenidas en la tabla 24 muestran que existiría menos de 8 Unitanques en estado de maduración, el restante 36.5% se reparte entre 9 y 13 Unitanques lo que genera un promedio de 6.9 con desviación de 1.79. Esto demuestra la alta variabilidad que existen en los tiempos de proceso en los tanques que finalmente termina influyendo negativamente tanto a Cocinas como a filtración. Adicionalmente este tiempo promedio es menor a 8 debido a que eventualmente se desocupan tanques que no ha cumplido la etapa de maduración lo que hace que se reduzca este valor y aumente su variabilidad.

Por lo tanto, al realizar cocimientos de 470 HI se aumentaría la cantidad producida en un año en un 5.62%, lo que corresponde a 120,930 HI adicionales, sin embargo para esto el sistema debe tener en cuenta tiempos de retraso o de espera debido a la ineficiencia de las áreas de producción, que aunque son menores respecto el sistema actual siguen siendo altas y no es aprovechada en gran parte su capacidad instalada, tal como lo demuestran las 1,500 horas de retraso en Cocinas y las 395 horas de retraso en filtración.

Uniproceso seguiría teniendo una capacidad menor al área de Cocinas y constituiría al cuello de botella del sistema para este escenario. Para disminuir los tiempos de retraso en Cocinas, sería necesaria la instalación de Unitanques adicionales que consideren el proceso de los cocimientos salientes de Elaboración de mosto y nivelen la capacidad instalada de las diferentes áreas.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que al aumentar la capacidad en Uniproceso se debe aumentar la capacidad de las áreas subsiguientes, de tal manera que se puedan controlar la producción de picos en Uniproceso debido a la variabilidad de los tiempos, evitando la acumulación de producto en los Unitanques.

10. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

El modelo tanto para el sistema actual como para los tres escenarios simuló 365 días de producción divididos en 12 intervalos que representan los 12 meses del año. La Tabla 27 muestra la comparación de los 4 modelos contemplados para las variables más representativas. Ésta consiste en la compilación de los resultados anuales mostrados en las tablas 14, 18, 22 y 26.

Para algunas variables no hay diferencia entre un escenario u otro, es por eso que solo se deben analizar aquellas variables que midan el rendimiento de la planta en unidades de tiempo o de cantidad. De la Tabla 27 se puede deducir que el escenario # 1 es aquel que arroja mejores resultados por varias razones:

- Al construir dos Unitanques adicionales con capacidad de 6 cocimientos cada uno, se espera que la producción aumente en un 6.6%, lo que consiste en 140,000 HI adicionales respecto al sistema actual. Este aumento en la producción sería mayor que aquel aumentando el flujo del Filtro en 1.67 veces el actual o al realizar cocimientos de 470 HI.
- El primer escenario consiste en la mejor opción para disminuir los tiempos de espera en Cocinas debido a retrasos. El total de tiempo de espera se reduciría en un 27%, porcentaje mayor que considerando los valores para los escenarios 2 y 3. Al aumentar el dinamismo en Elaboración de mosto se cocinaría un total de 214 cochadas adicionales que significan 94,500 HI de Cerveza concentrada.
- Al aumentar la capacidad en Uniproceto o el Filtro también se debe tener en cuenta el aumento de la capacidad en los Tanques de Contrapresión. El primer escenario contempla el menor tiempo de retraso de los tres considerados y es el menor tiempo promedio de retraso de los 4 sistemas.

Tabla 27. Comparación de resultados para los cuatro modelos de simulación construidos

| VARIABLES | Sistema Actual | Escenario 1 (2 tanques más) | Escenario 2 (mayor flujo en filtro) | Escenario 3 (Cocimientos de 470 HI) |
|---|----------------|--------------------------------|--|--|
| Hora de Inicio | 833.33 | 833.33 | 833.33 | 833.33 |
| Hora Final | 9593.33 | 9593.33 | 9593.33 | 9593.33 |
| Cantidad de Cocimientos Totales | 2985 | 3199 | 3002 | 2977 |
| Cantidad de Cocimientos Cerveza | 2901 | 3115 | 2914 | 2893 |
| Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 84 | 84 | 88 | 84 |
| Cantidad Cocinada (HI) | 1,318,809 | 1,413,261 | 1,325,410 | 1,395,726 |
| Promedio Unitanques en Maduración | 6.759 | 7.138 | 6.822 | 6.800 |
| Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 1.995 | 2.218 | 1.583 | 2.142 |
| Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (HI concentrados) | 2,548.37 | 2,575.47 | 2,611.03 | 2,542.56 |
| Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (HI concentrados) | 994.06 | 1,053.12 | 1,023.45 | 1,012.79 |
| Cerveza Filtrada (HI) | 1,228,054 | 1,313,618 | 1,232,517 | 1,302,945 |
| Pony Filtrada (HI) | 40,418 | 40,380 | 42,405 | 40,489 |
| Merma Uniproceso (HI) | 53,386 | 57,125 | 53,668 | 56,685 |
| Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4.166 | 4.167 | 4.173 | 4.169 |
| Merma Filtración (HI) | 48,129 | 51,540 | 48,257 | 51,005 |
| Porcentaje Merma Filtración (%) | 2.351 | 2.354 | 2.349 | 2.349 |
| Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 102 | 87 | 105 | 81 |
| Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 1603.69 | 1157.9 | 1547.07 | 1592.2 |
| Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 10.158 | 7.170 | 12.858 | 7.308 |
| Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 289.98 | 353.56 | 1093.7 | 395.38 |
| Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 1.604 | 1.397 | 2.206 | 1.452 |
| Promedio de BBT's Ocupados | 3.558 | 3.815 | 3.779 | 3.798 |
| Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 76.877 | 74.873 | 73.410 | 75.425 |
| Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 69.243 | 69.340 | 70.200 | 69.493 |
| Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 51 | 51 | 50 | 52 |
| Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 52 | 51 | 52 | 52 |
| Merma Línea de Envase 1 (HI) | 18,288 | 19,568 | 18,714 | 19,380 |
| Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2.371 | 2.364 | 2.357 | 2.359 |
| Merma Línea de Envase 2 (HI) | 29,870 | 31,903 | 29,612 | 31,478 |
| Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2.285 | 2.284 | 2.281 | 2.280 |
| Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (HI) | 753,067 | 808,326 | 775,206 | 802,039 |
| Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (HI) | 1,277,115 | 1,364,980 | 1,268,312 | 1,349,073 |
| Cantidad Total Enviada al Depósito (HI) | 2,030,182 | 2,173,306 | 2,043,518 | 2,151,112 |

Fuente: Los autores

- El primer escenario es el que posee un mejor promedio de Unitanques listos para filtrar con un valor de 2.21. con lo cual se concluye que el área de Filtración se abastece de una manera más constante con la instalación de dos Unitanques adicionales que considerando cualquiera de las otras dos reformas propuestas.

Por lo tanto se puede asegurar que la mejor manera de aumentar la eficiencia y la capacidad de la Cervecería es por medio de la instalación de los dos Unitanques dispuestos para la fermentación y la maduración de la Cerveza.

Al analizar con mayor detenimiento este escenario, puede advertirse que es susceptible de mejora debido a que varios procesos deben incurrir en tiempos de retraso generando un acumulamiento de producto en ciertas áreas tal como se explicó en el capítulo 9.1.1, para lo cual se realizaron análisis adicionales que se presentan a continuación.

11. MODELO PROPUESTO

Por fuera del alcance del proyecto se desarrolló una propuesta por parte de los autores hacia la empresa respecto al mejoramiento del proceso productivo con el objetivo de aumentar la eficiencia y la capacidad de la planta. El propósito de esta etapa del proyecto es demostrar como estos cambios influyen dentro de las variables de rendimiento mencionadas para el análisis de los resultados de los 4 modelos anteriores y así responder la pregunta ¿que debe hacer Bavaria para incrementar la producción en la planta de Bucaramanga de una manera eficiente?

Tomando la herramienta base constituida principalmente por el modelo de simulación adecuado para el sistema actual, se realizaron diferentes cambios de tal manera que se pudieran llegar a obtener mejores resultados en cuanto a la reducción de tiempos de espera y el aumento de la cantidad anual producida. El objetivo principal es mantener el proceso en una dinámica constante de tal manera de que se reduzca considerablemente los tiempos de retraso sin aumentar en gran medida la ociosidad de las estaciones por escasez de producto.

Luego de varias iteraciones y el respectivo análisis de resultados se concluyó con un modelo que contempla varios cambios: la instalación de 5 Unitanques adicionales dispuestos para la fermentación y maduración de la Cerveza, un flujo en el Filtro de 440 HI/h, la adecuación de 2 Tanques de Contrapresión más y un área de Envase que trabaja al 99% de su eficiencia.

El modelo propuesto se corrió bajo los mismos tiempos de simulación que los demás modelos para efectos de comparación de resultados. En la Tabla 28 se pueden observar los resultados obtenidos para las 33 variables luego de un año de simulación.

Tabla 28. Resultados arrojados por el modelo de simulación para el sistema propuesto

| VARIABLES | MES | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 Hora de Inicio | 833.33 | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 833.33 | 365 días |
| 2 Hora Final | 1563.33 | 2293.33 | 3023.33 | 3753.33 | 4483.33 | 5213.33 | 5943.33 | 6673.33 | 7403.33 | 8133.33 | 8863.33 | 9593.33 | 9593.33 | |
| 3 Cantidad de Cocimientos Totales | 284 | 304 | 294 | 302 | 294 | 296 | 275 | 291 | 295 | 301 | 291 | 297 | 3524 | |
| 4 Cantidad de Cocimientos Cerveza | 276 | 296 | 286 | 294 | 290 | 288 | 271 | 287 | 287 | 293 | 283 | 289 | 3440 | |
| 5 Cantidad de Cocimientos Pony Malta | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 8 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 84 | |
| 6 Cantidad Cocinada (HI) | 125,547 | 134,367 | 129,991 | 133,383 | 129,802 | 130,910 | 121,509 | 128,443 | 130,362 | 132,988 | 128,718 | 131,316 | 1,557,336 | |
| 7 Promedio Unitanques en Maduración | 7.77 | 7.77 | 7.69 | 7.77 | 7.91 | 7.7 | 7.51 | 7.4 | 7.9 | 7.84 | 7.66 | 7.59 | 7.71 | |
| 8 Promedio Unitanques Listos para Filtrar | 2.15 | 2.24 | 1.39 | 1.54 | 1.66 | 1.74 | 3.24 | 2.46 | 2.01 | 1.66 | 2.14 | 1.56 | 1.98 | |
| 9 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Steinecker (HI concentrados) | 2,852.17 | 2,687.29 | 2,698.36 | 2,606.85 | 2,606.15 | 2,561.65 | 2,474.36 | 2,708.62 | 2,470.77 | 2,351.40 | 2,500.67 | 2,624.03 | 2595.19 | |
| 10 Valor Promedio del Ciclo de Filtración Enziger (HI concentrados) | 1,418.82 | 1,020.94 | 1,234.67 | 1,184.93 | 1,004.69 | 1,241.27 | 1,092.36 | 751.03 | 911.58 | 1,156.81 | 935.87 | 1,104.77 | 1088.15 | |
| 11 Cerveza Filtrada (HI) | 121,917 | 123,208 | 120,152 | 123,437 | 128,960 | 115,771 | 114,972 | 124,437 | 122,338 | 117,678 | 122,641 | 124,628 | 1,460,139 | |
| 12 Pony Filtrada (HI) | 3,688 | 3,645 | 3,681 | 1,851 | 3,652 | 1,822 | 3,666 | 1,810 | 3,665 | 3,653 | 3,655 | 3,671 | 38,459 | |
| 13 Merma Uniproceso (HI) | 5,295 | 5,339 | 5,208 | 5,351 | 5,588 | 5,009 | 5,034 | 5,400 | 5,326 | 5,106 | 5,334 | 5,411 | 63,401 | |
| 14 Porcentaje Merma Uniproceso (%) | 4.16 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.19 | 4.16 | 4.17 | 4.16 | 4.17 | 4.16 | 4.16 | |
| 15 Merma Filtración (HI) | 4,751 | 4,762 | 4,726 | 4,935 | 5,042 | 4,590 | 4,535 | 4,777 | 4,768 | 4,699 | 4,747 | 4,898 | 57,230 | |
| 16 Porcentaje Merma Filtración (%) | 2.34 | 2.32 | 2.36 | 2.40 | 2.35 | 2.38 | 2.37 | 2.30 | 2.34 | 2.40 | 2.32 | 2.36 | 2.35 | |
| 17 Cantidad de Unitanques Filtrados sin cumplir Maduración | 8 | 7 | 7 | 8 | 9 | 10 | 7 | 6 | 5 | 6 | 7 | 5 | 85 | |
| 18 Tiempo de Espera en Cocinas debido a Incapacidad en Uniproceso (h) | 63.64 | 24.75 | 18.73 | 26.95 | 19.33 | 43.15 | 86.03 | 50.59 | 24.86 | 29.67 | 49.48 | 17.52 | 454.70 | |
| 19 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Cocinas (h) | 9.45 | 11.91 | 5.02 | 8.53 | 5.1 | 7.11 | 14.03 | 6.69 | 3.54 | 16.64 | 5.39 | 1.45 | 7.91 | |
| 20 Tiempo de Espera por BBT en Filtración (h) | 27.54 | 16.52 | 26.03 | 9.13 | 19.33 | 18.08 | 17.66 | 11.2 | 9.15 | 1.33 | 13.86 | 19.901 | 189.731 | |
| 21 Promedio de Tiempo de Espera/Retraso en Filtración (h) | 1.07 | 1.51 | 1.4 | 2.02 | 0.89 | 1.43 | 1.66 | 1.36 | 1.93 | 1.29 | 1.47 | 1.7 | 1.48 | |
| 22 Promedio de BBT's Ocupados | 4.61 | 4.41 | 4.2 | 4.1 | 4.59 | 4.08 | 4.23 | 4.21 | 4.24 | 3.94 | 4.29 | 4.48 | 4.28 | |
| 23 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E1 (min) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | |
| 24 Tiempo Promedio de demora Adicional Vaciado de BBT's al E2 (min) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | |
| 25 Número de Aseos en Cocinas (CIP Fin de Semana) | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 52 | |
| 26 Número de Aseos en Filtración (CIP fin de Semana) | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 52 | |
| 27 Merma Línea de Envase 1 (HI) | 1,717.00 | 1,759.00 | 1,748.00 | 1,724.00 | 1,842.00 | 1,602.00 | 1,610.00 | 1,674.00 | 1,663.00 | 1,705.00 | 1,755.00 | 1,763.00 | 20562 | |
| 28 Porcentaje de Merma Línea de Envase 1 (%) | 2.38 | 2.37 | 2.35 | 2.36 | 2.30 | 2.35 | 2.36 | 2.35 | 2.32 | 2.38 | 2.39 | 2.36 | 2.36 | |
| 29 Merma Línea de Envase 2 (HI) | 3,076.00 | 2,996.00 | 2,955.00 | 3,037.00 | 3,151.00 | 2,907.00 | 2,863.00 | 3,030.00 | 3,069.00 | 2,986.00 | 2,951.00 | 3,132.00 | 36153 | |
| 30 Porcentaje de Merma Línea de Envase 2 (%) | 2.30 | 2.29 | 2.28 | 2.27 | 2.29 | 2.26 | 2.27 | 2.30 | 2.29 | 2.27 | 2.29 | 2.29 | 2.28 | |
| 31 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 1 (HI) | 70,405 | 72,391 | 72,752 | 71,207 | 78,079 | 66,480 | 66,538 | 69,573 | 70,024 | 69,895 | 71,560 | 73,067 | 851,971 | |
| 32 Cantidad Enviada al Depósito desde la Línea de Envase 2 (HI) | 130,927 | 127,556 | 126,556 | 130,802 | 134,646 | 125,456 | 123,112 | 128,712 | 130,815 | 128,728 | 125,834 | 133,543 | 1,546,687 | |
| 33 Cantidad Total Enviada al Depósito (HI) | 201,332 | 199,947 | 199,308 | 202,009 | 212,725 | 191,936 | 189,650 | 198,285 | 200,839 | 198,623 | 197,394 | 206,610 | 2,398,658 | |

Fuente: Los autores

Como se muestra en la tabla 28, el modelo para el sistema propuesto simuló la producción para 365 días, divididos en intervalos de un mes. Al finalizar este tiempo y considerando los cambios anteriormente enunciados, el sistema produciría un total de 2'398,558 HI entre las dos líneas de envase, al sumar la cantidad de todas las referencias de marca. Es decir que con dichas modificaciones la capacidad total de la planta se aumentaría en un 15.4% (370,000 HI adicionales).

La eficiencia de la planta aumentaría a causa de la reducción de los tiempos de retraso ocasionados por obstrucción o incapacidad de las áreas subsiguientes. Elaboración de mosto se detendría un total de 454 horas, un 28.3% respecto al tiempo de retraso actual. Con este tiempo aprovechado se podrían cocinar 540 cochadas adicionales a las 2,900 que se realizan al cabo de un año. A pesar de que 454 horas sigue siendo un valor alto, durante el tiempo de simulación se notó que en muchas ocasiones había más de 5 Unitanques libres y dispuestos para el recibo de los cocimientos, por lo que se puede concluir que al reducir la variabilidad de los tiempos de proceso dentro del Unitanque se puede regular el flujo normal de las entidades entre las áreas de Cocinas y Uniproceso y reducir finalmente este tiempo total de retraso a un valor mínimo.

Adicionalmente, el área de Filtración se encontraría inactiva a causa de inexistencia de un BBT disponible durante un tiempo total de 182 horas, un 34.6% menor que en el sistema actual. Esta diferencia permitiría la filtración de 232,000 HI de Cerveza concentrada adicionales y la reducción del tiempo promedio por retraso de 1.6 horas/retraso a 1.47 horas/retraso. Observando la variable 22 de la tabla 28 se puede concluir que estos retrasos en Filtración son anormales ya que la ocupación de los BBT's tiene un promedio ponderado de 4.28 y el promedio de ocupación de BBT's como se muestran en el anexo V en la hoja de Excel "PROPUESTO" la ocupación de los BBT's sería 4.96 con una moda de 5, es decir que la ocupación máxima ocurre rara vez.

Por lo tanto, al implementar los cambios propuestos por el presente capítulo se aumentaría la capacidad del área de Cocinas en un 28.3%, la capacidad del Uniproceso y Filtración en 34.6%, la capacidad de la línea de envase 1 en 11.6% y la capacidad de la línea de envase 2 en 17.4%, lo que generaría un aumento total de capacidad general de la planta en 15.4%.

12. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO A BAVARIA

Tanto los ingenieros tutores como el director de la planta de Bucaramanga estuvieron constantemente informados acerca del desarrollo de todas las etapas del proyecto. Tal como se explicó en el capítulo 4.3, la recolección de la información se llevó a cabo con la asistencia del personal de la Cervecería y dada por finalizada la etapa de análisis de información, se llevó a cabo una reunión (finales de Mayo) con el ingeniero de planeación de producción (tutor) y el director. En esta reunión se mostró toda la información recogida para cada área y se discutió el grado de detalle que debía tener el modelo.

Durante la construcción del modelo hubo reuniones constantes con los tutores de la empresa con el objetivo de aclarar ciertas reglas de producción para cuando se presentaran diferentes situaciones. Toda la de producción fue incluida dentro de la programación del modelo de tal manera que éste no representara estados absurdos.

Concluida la programación del modelo se convocó a una reunión (Finales de Agosto) a la que asistió: el director, el gerente de producción, el maestro cervecero (tutor) y el planeador de producción (tutor). En esta reunión se mostró toda la dinámica del simulador y se verificó todas las actividades mostradas por el programa. Adicionalmente, se propusieron los 3 escenarios que se debían contemplar para llevar a cabo el proceso de análisis de sensibilidad, el cual se está contemplado en el capítulo 9. Al día siguiente se expuso el proyecto a ceca de 20 ingenieros de todas las áreas, quienes ayudaron al proceso de verificación del modelo de una manera más detallada.

Luego de haber construido un modelo para cada uno de los tres escenarios propuestos y finalizado el análisis de los resultados para dichos modelos se citó a otra reunión (Finales de Septiembre) a la que asistió el director y el planeador de la producción. Allí se compararon los 3 escenarios y se concluyó que el escenario #1 es el mejor de los sugeridos. Finalmente, el modelo y todos los archivos referentes al proyecto fueron entregados al la dirección de la Cervecería, la cual expresó su entusiasmo en continuar la aplicación de estos programas que constituyen en una herramienta fiable para la toma de decisiones.

13. CONCLUSIONES

- Unos objetivos claros, un alcance bien estructurado y un estudio detallado del sistema permitieron llevar a cabo la construcción de un modelo de simulación que representa de manera clara y dinámica el proceso productivo de la Cerveza en la planta de Bavaria en Bucaramanga.
- El modelo de simulación permitió realizar un análisis detallado del rendimiento de la Cervecería de Bucaramanga para su proceso cervecero, identificando las falencias más significativas en las diferentes áreas de producción de una manera cuantificada con sus respectivas causas.
- El área de Uniproceto es aquella que restringe la capacidad de la planta y por lo tanto ésta representa el cuello de botella del proceso. El área de Cocinas se ve forzada a detener sus actividades debido a la inexistencia de un Unitanque libre y así mismo el área de Filtración y Contrapresión incurren en tiempos ociosos por escasez de producto, el cual se encuentra acumulado en el Uniproceto.
- La variabilidad en el tiempo de Uniproceto constituye un factor determinante para el acumulamiento o la escasez de Cerveza en los Unitanques y las áreas de Filtración y Contrapresión. A medida que esta variabilidad aumente, los tiempos de retraso también aumentarán produciendo finalmente la reducción de los niveles de eficiencia de todas las áreas y la cantidad total producida.
- Los ciclos de filtración son vitales para determinar el flujo del producto, cuando estos son muy cortos ocasiona acumulación de Cerveza madura en los Unitanques, pero cuando estos son muy largos la capacidad en los Tanques de Contrapresión no da abasto generando retraso en el área de Filtración.

- El primer escenario propuesto (instalación de dos Unitanques adicionales) resultó ser la mejor opción de los 3 escenarios sugeridos en cuanto a mayor cantidad total producida y menores tiempos de espera o retraso.
- Debido a que el proceso cervecero está conformado por cantidades y tiempos variables a través de todo el sistema, es inevitable que ciertas áreas incurran en tiempos ociosos ocasionados por el exceso o la escasez de producto.
- El presente modelo se constituirá en una herramienta experimental de análisis de escenarios para los proyectos futuros que se pretendan realizar dentro de la Cervecería.

14. RECOMENDACIONES

- Una manera de aumentar significativamente el rendimiento del área de Uniproceso es reducir la variabilidad de los tiempos de fermentación, enfriamiento y maduración que se llevan a cabo dentro de los Unitanques. Teniendo un proceso más estable se evitarían los acumulamientos excesivos de producto en espera por bloqueos. Debido a que esta variabilidad está influida principalmente por el rendimiento del área de servicios y más puntualmente del manejo de amoníaco se recomienda realizar un mantenimiento general del área que genere mejores resultados al reducir la variabilidad de los tiempos a causa del manejo del frío.
- Para reducir los tiempos de espera debido a retrasos se recomienda la construcción de 5 Unitanques adicionales (37 Unitanques totales) dispuestos para la fermentación y la maduración de la Cerveza. Esto permitiría un mayor flujo del producto en proceso aumentando consecuentemente la capacidad total y la eficiencia de la planta en todas sus áreas.
- Se recomienda la construcción de 2 tanques adicionales de contrapresión, lo cuales permiten el manejo de exceso de producto causado por los picos generados por la variabilidad en los tiempos del Uniproceso. Estos dos tanques reducirán el tiempo de espera o de retraso causado por el acumulamiento de producto debido a la inexistencia de un BBT disponible, aumentando así la eficiencia del área de Filtración y Contrapresión.
- Un aumento del flujo del Filtro de 374 HI/h a mínimo 440 HI/h, permitiría un proceso mucho más rápido de la Cerveza madura situada en los Unitanques, dejándolos disponibles para el recibo de los cocimientos en un intervalo de tiempo menor al actual. Este cambio reduciría el tiempo de espera en el área de Cocinas y el acumulamiento de Cerveza lista en el Uniproceso.

- Al considerar las anteriores recomendaciones se debe tener en cuenta adicionalmente incrementar la eficiencia en las envasadoras de 85% a un mínimo de 95%, de manera que toda la cantidad almacenada en los BBT´s sea envasada y enviada al Depósito en el menor tiempo posible y así disponer rápidamente de estos Tanques de Contrapresión para el recibo de Cerveza recién filtrada.
- A medida que se lleven a cabo proyectos que afecten la capacidad de la planta, se recomienda que se actualice el presente modelo, de manera que se pueda continuar aplicando la actual metodología sin necesitar desarrollar proyectos alternos que necesiten comenzar desde cero.

GLOSARIO

- Cerveza: Es la bebida obtenida por fermentación alcohólica mediante “levadura cervecera”, de un mosto elaborado con cebada germinada y otros cereales. Tendrá una graduación entre 2.5 – 7.0 grados alcoholimétricos.
- Extracto límite aparente: Extracto, medido en °P, hasta el cual debe llegar un mosto sometido a fermentación alcohólica. Como su solución está afectada por la presencia de alcohol en solución, es aparente. Con este valor se calcula el grado de fermentación final, que constituye una especificación de Cerveza a elaborar.
- Floc: Aglutinación de las partículas en suspensión durante la floculación en el proceso de potabilización del agua.
- Jarabe de maíz: Adjunto líquido compuesto por una solución de azúcares, elaborada mediante hidrólisis de almidones de maíz que se utiliza en el proceso cervecero como reemplazo total o parcial de adjuntos crudos. Se adiciona durante el proceso de cocción del mosto.
- Levadura: Hongo unicelular que se reproduce por gemación. Éste transforma los azúcares en gas carbónico y alcohol.
- Lúpulo: Parte femenina de una planta trepadora (*Humulus Lúpulos*) de la familia de las moráceas, en forma de piña globosa y se emplea para aromatizar y dar sabor amargo a la Cerveza.
- Malta: Producto resultante de la germinación controlada de la cebada de una variedad cervecera.
- Merma: Disminución de la producción.

- Modelo: Un modelo es una herramienta que permite comprender, visualizar y/o pronosticar el comportamiento de un sistema real, un fenómeno, o un suceso.
- Modelo computacional o modelo de simulación: Consiste en introducir la información que se obtuvo en el modelo conceptual en un software especializado, el cual permitirá definir las interacciones previamente establecidas y los elementos que formen parte del sistema.
- Modelo conceptual: Es la interpretación generada por el investigador acerca del comportamiento de todos los factores que forman el sistema.
- Mosto: Sustancia líquida rica en azúcares proveniente de la mezcla de malta, agua y adjuntos.
- Mosto débil: Es el líquido remanente embebido en los afrechos, después de finalizada la filtración del mosto en el proceso de Cocinas, posee un extracto de concentración relativamente baja.
- Sistema: Conjunto de objetos y/o entidades que interactúan entre si para alcanzar un objetivo.
- Tierra diatomácea: Materia porosa utilizada para el proceso de filtración de la Cerveza.
- Trub: Subproducto generado en el proceso de sedimentación en la olla whirlpool.
- Uniproceto: Constituye en el proceso de fermentación y maduración de la Cerveza, cuando éste se lleva a cabo en un solo tanque.

BIBLIOGRAFÍA

HARREL, Charles y GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce. Simulation Using Promodel. Estados Unidos de América: segunda edición. Mc Graw Hill 2004.

Promodel Corporation. ¿Qué es Simulación? [en línea]. s.f. [citado 4 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <URL:http://www.promodel.com.mx/quienes_somos.php>.

PIERA, Miguel. Como mejorar la logística de su empresa mediante simulación. Ediciones Díaz de Santos 2007.

Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña. Introducción a las técnicas de simulación [en línea]. s.f. [citado 21 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EE04601M.pdf>>.

Uribe Urbina Rafael Julián, Propuesta de Diseño de Distribución de Planta de las líneas de envasado en la fábrica de lubricantes Terpel, fundamentada en la herramienta de simulación Promodel, Disponible en URL <<http://chorlito.uis.edu.co/tesis/2004/114303.pdf>>

The magazine of ASME. Simulation applied in the engineering. [en línea]. s.f. [citado 20 de noviembre de 2005]. Disponible en Internet <URL: www.memagazine.org >

Documento interno de BAVARIA, Elaboración del mosto en la sala de cocimientos, código 22008004

Documento interno de BAVARIA, Uniproseso, código 2000442

Documento interno de BAVARIA, 5-BUC-001407 Uniproseso 01, código 05-001407

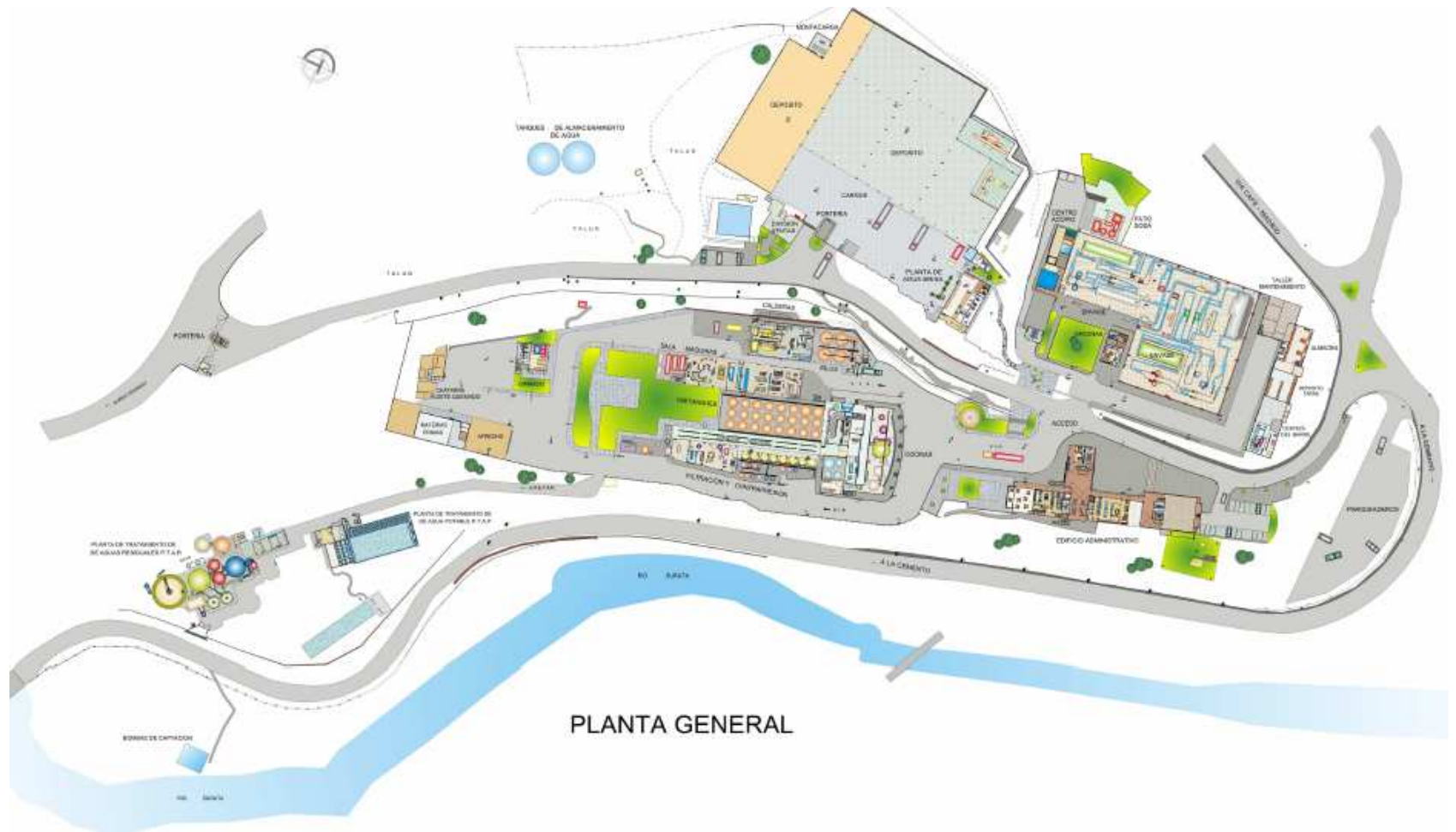
ANEXOS

Anexo A. Mapa General de ubicación de la Cervecería de Bucaramanga



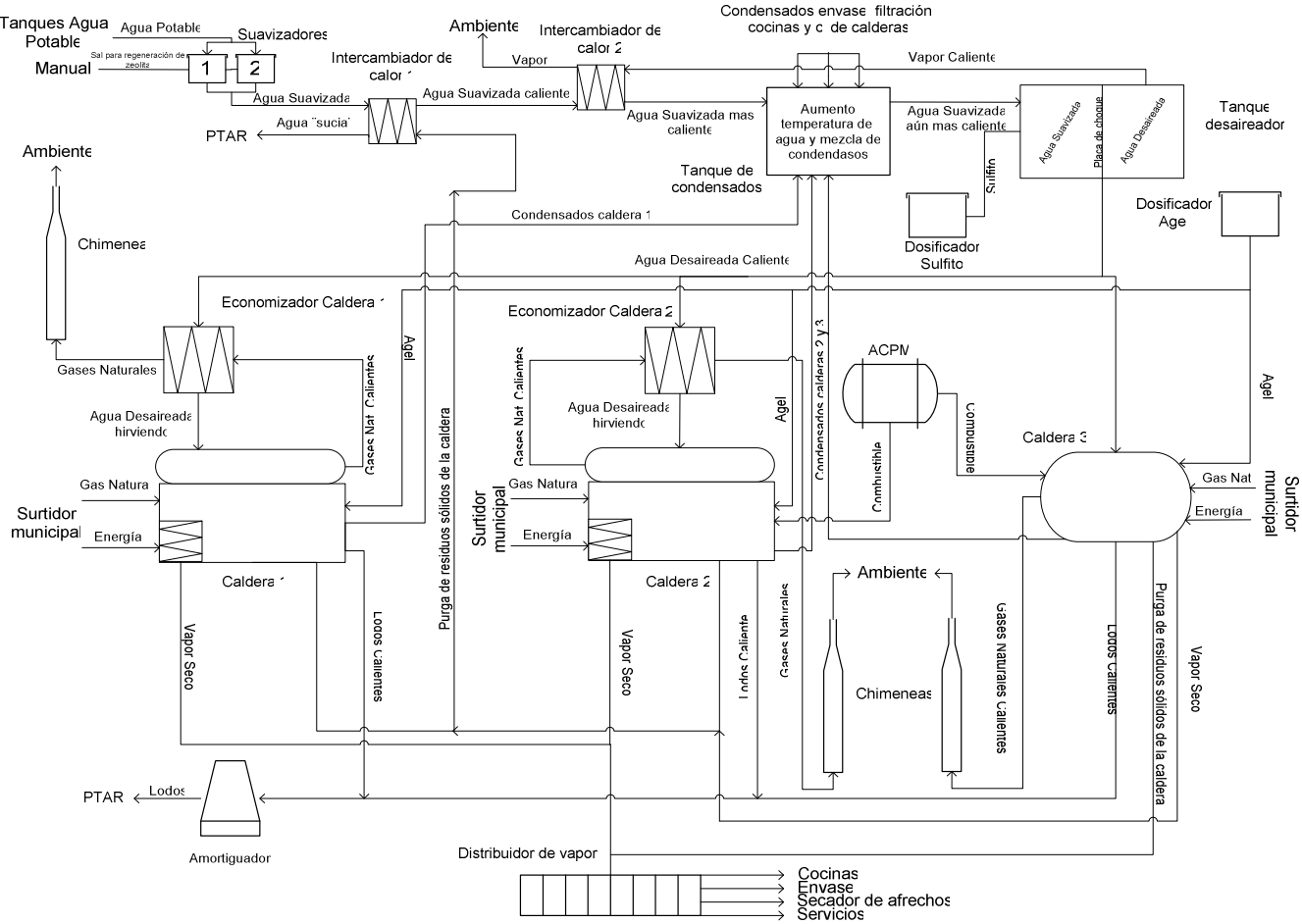
Fuente: Google Earth

Anexo B. Plano General de la Cervecería de Bucaramanga



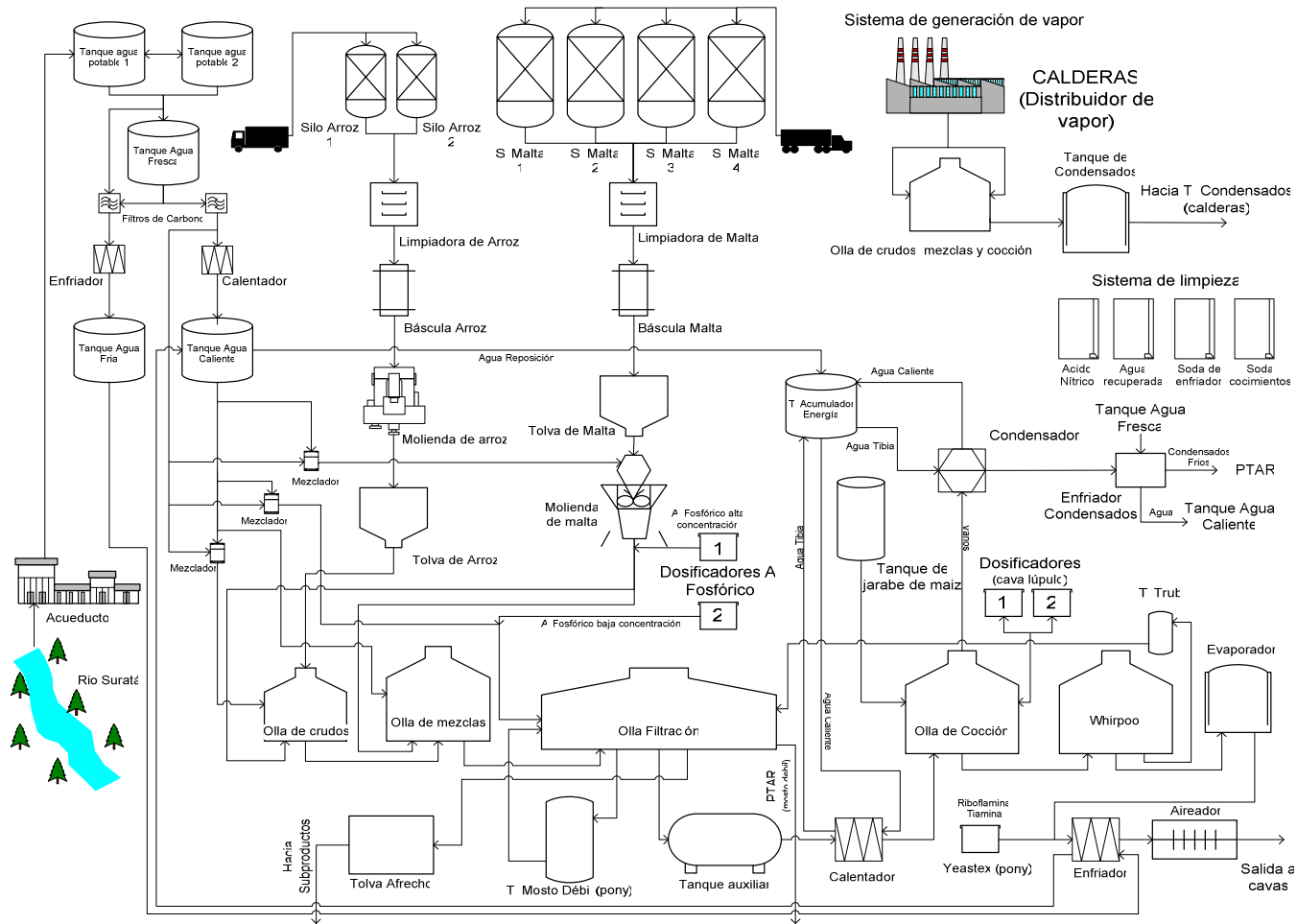
Fuente: Documentos internos de BAVARIA

Anexo C. Diagrama de la generación y el manejo de Vapor



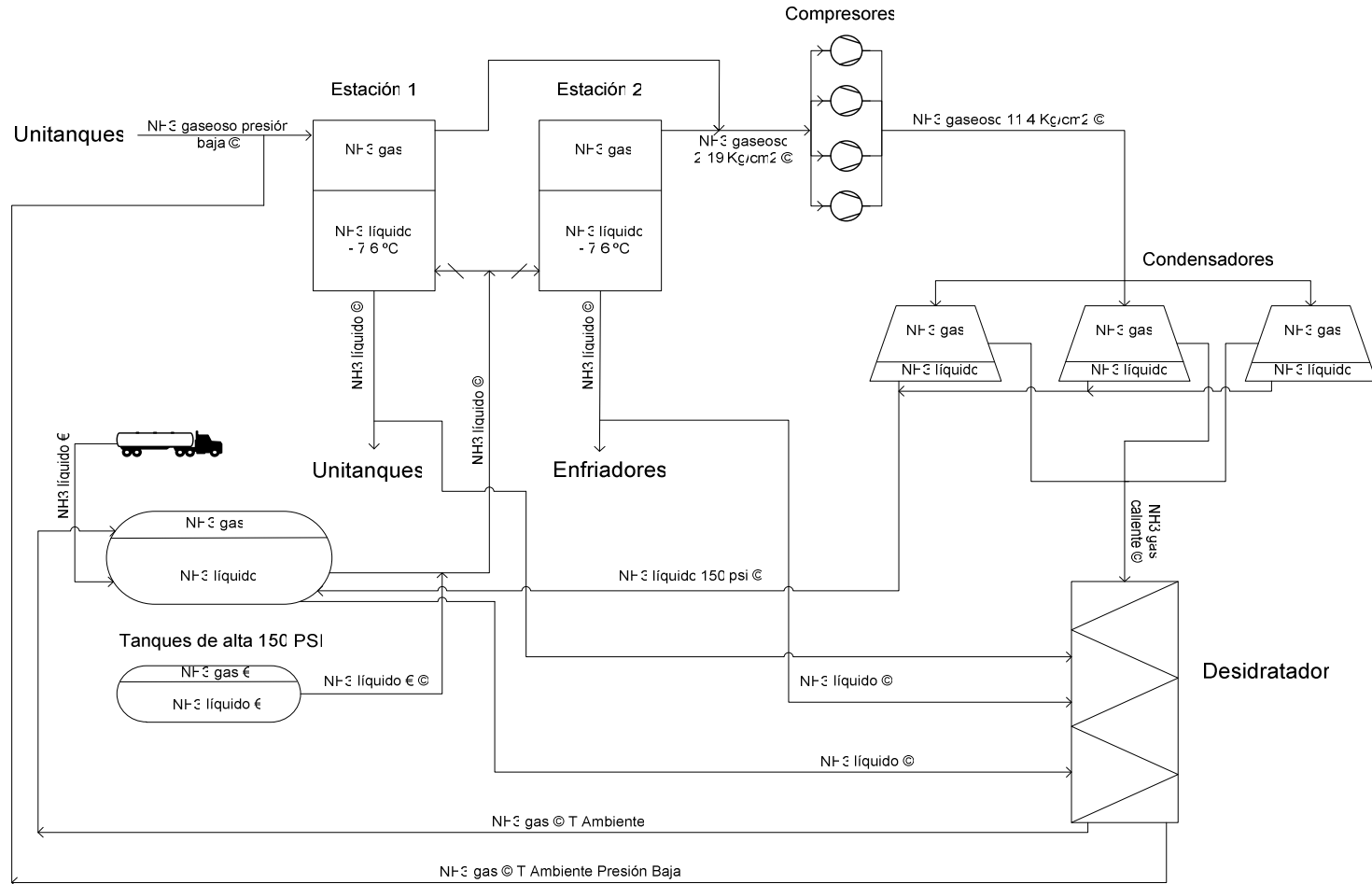
Fuente: los Autores

Anexo D. Diagrama de Elaboración de mosto



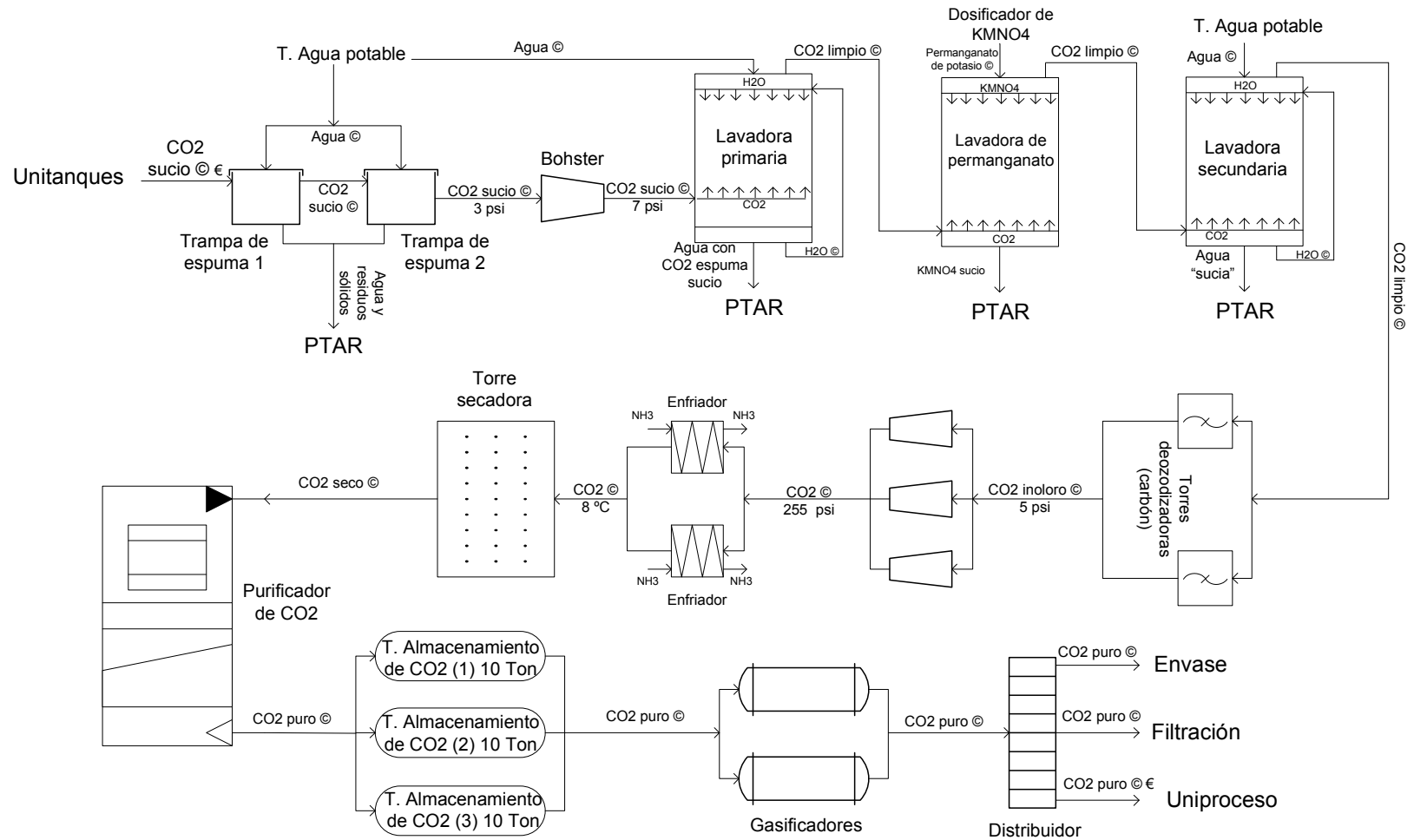
Fuente: los Autores

Anexo E. Diagrama del manejo de amoniaco (NH_3)



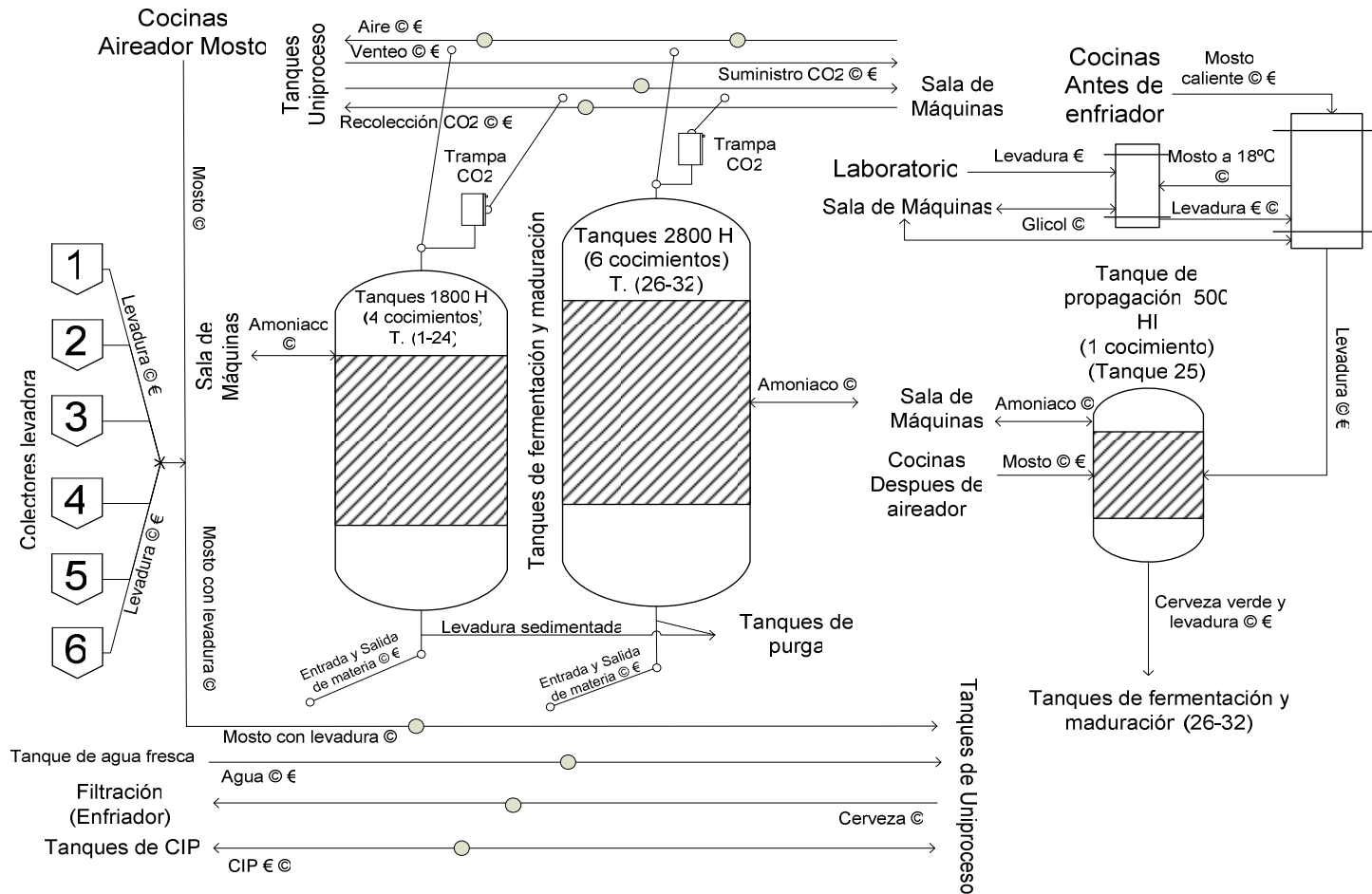
Fuente: los Autores

Anexo F. Diagrama del manejo de gas carbónico (CO_2)



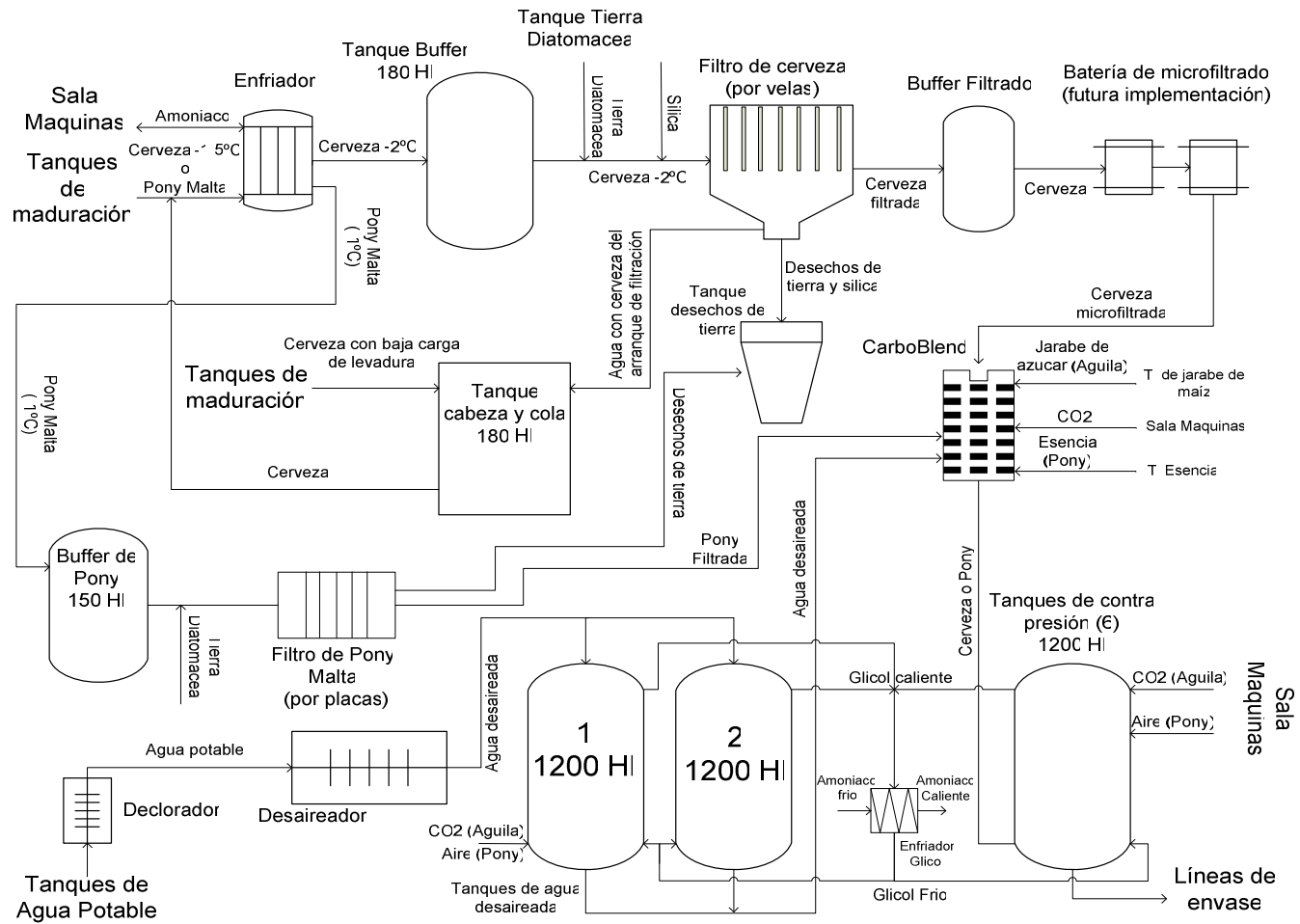
Fuente: los Autores

Anexo G. Diagrama de Uniproceso y Propagación de levadura



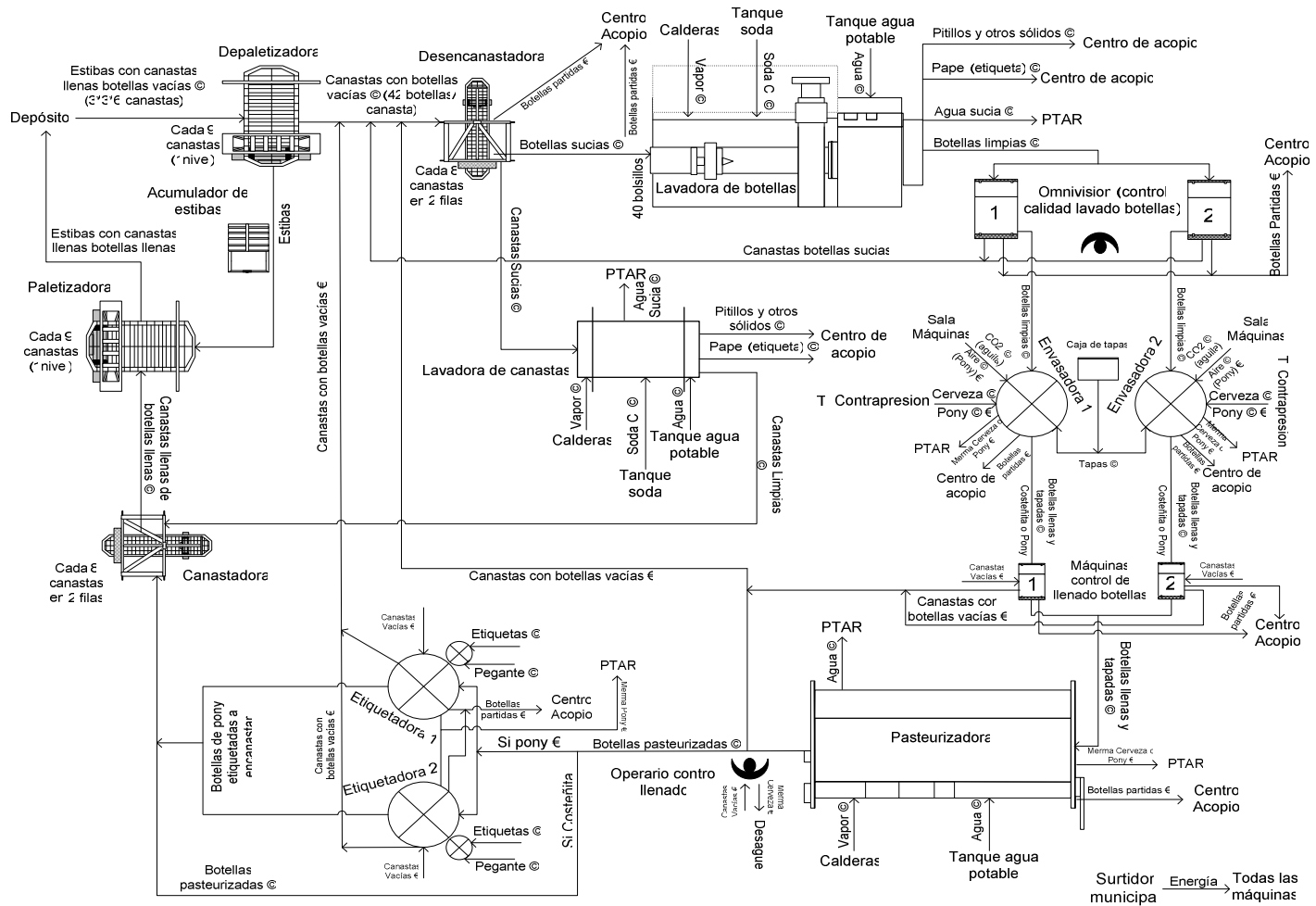
Fuente: los Autores

Anexo H. Diagrama de Filtración y Contrapresión



Fuente: los Autores

Anexo I. Diagrama de la línea de envase 1



Fuente: los Autores

Anexo K. Archivo: Diagramación del sistema “Proceso Cervecerero”.VSD

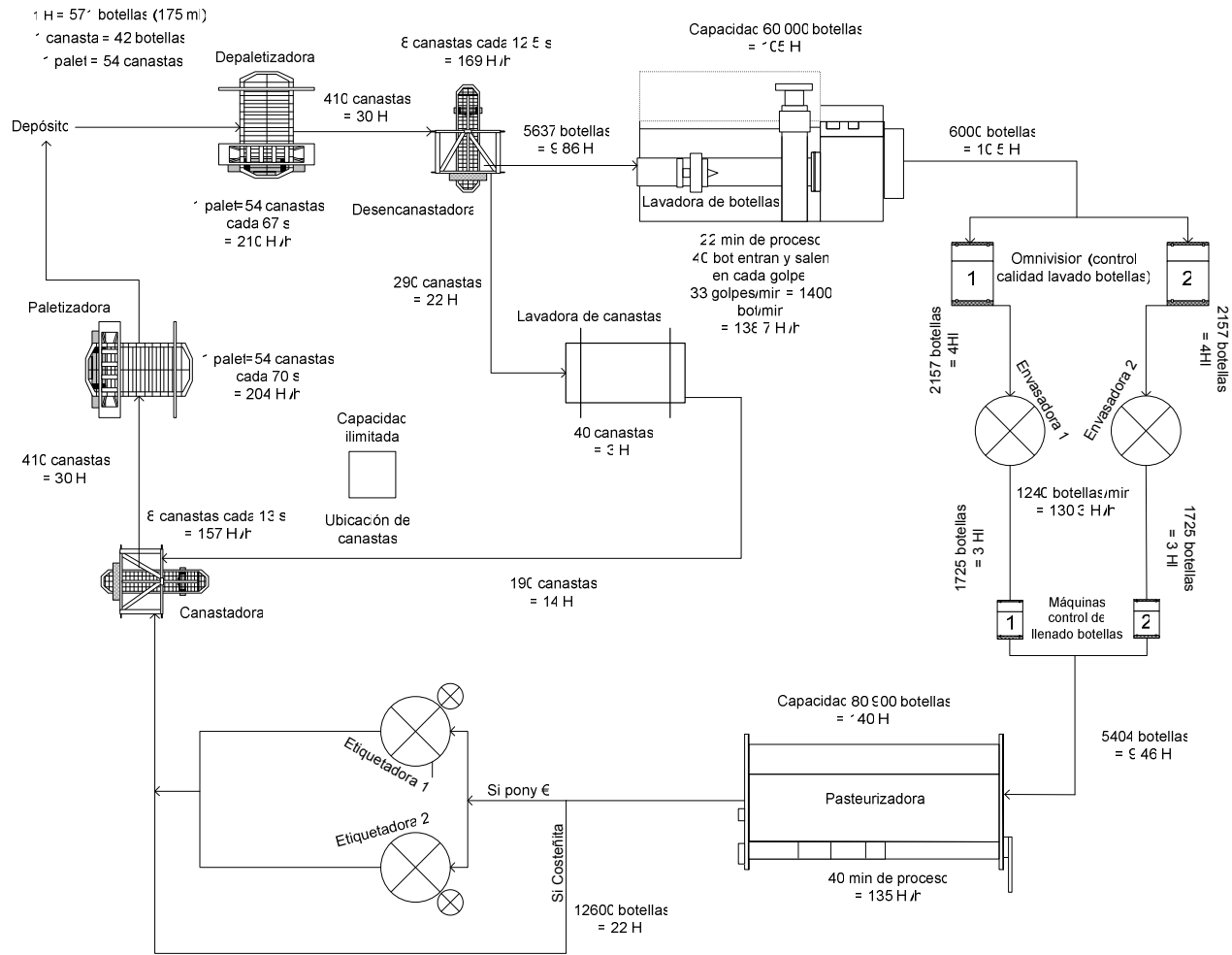
**Anexo L. Archivo: Información del área de Elaboración de
mosto.xls**

Anexo M. Archivo: Información del área de Uniproceto.xls

Anexo N. Archivo: Información del área de Filtración.xls

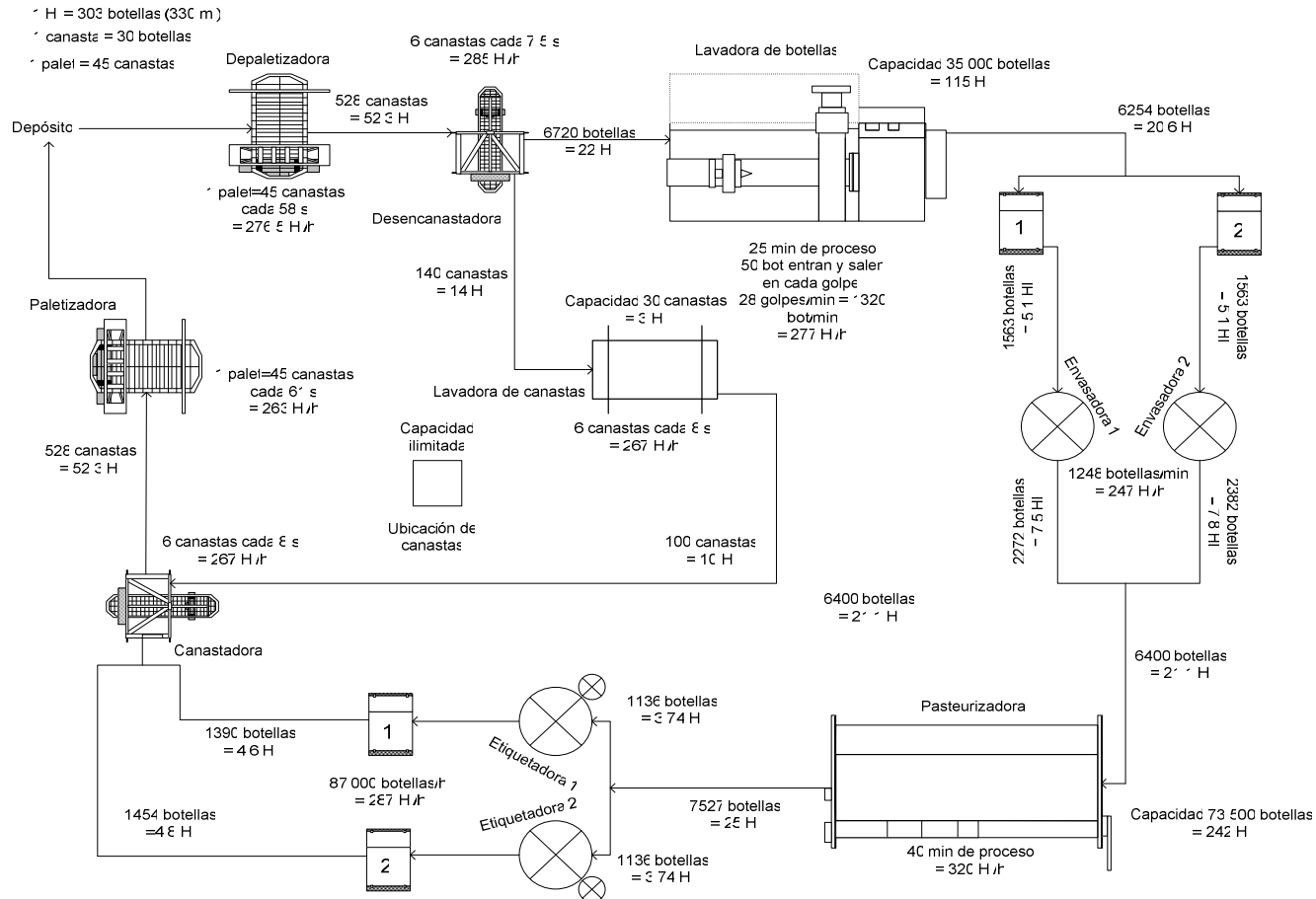
Anexo O. Archivo: Cuadros de Control.txt

Anexo P. Capacidades en Hectolitros para la línea de envase 1



Fuente: los Autores

Anexo Q. Capacidades en Hectolitros para la línea de envase 2



Fuente: los Autores

Anexo R. Descripción de las variables más importantes en el modelo de simulación

| Variable | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| DESCANSO_OLLA_MEZCLAS | Tiempo que dura la olla de mezclas vacía para su acondicionamiento para el siguiente cocimiento. |
| TIEMPO_MEZCLAS_CERVEZA | Tiempo de ocupación en la olla de mezclas, luego de la llegada de la masa proveniente de crudos para la elaboración de mosto de cerveza. Incluye transporte a filtración. |
| TIEMPO_EN_FILTRACION_CERV | Tiempo de filtración en la olla para el mosto de cerveza sin incluir transporte de llegada ni ocupación debido a arrechos y aseo de olla. |
| TIEMPO_TAU_X | Tiempo de ocupación del tanque auxiliar para la elaboración de mosto de cerveza. |
| TIEMPO_FILTRACION_PONY | Tiempo de filtración para el mosto de pony malta sin incluir transporte de llegada ni ocupación debido a arrechos y mosto de olla. |
| CANTIDAD_ULTIMO_COCIMIENTO | Determina la cantidad saliente del último cocimiento hacia uniproceto en hectolitros. |
| NUMERO_DE_COCIMIENTOS_TOTALES | Contador del total de los cocimientos salientes tanto de cerveza como de pony malta. |
| NUMERO_COCIMIENTOS_AGUILA | Suma únicamente la cantidad de cocimientos de Aguila, esto lo hace apenas sale el agua al molino de malta. |
| NUMERO_COCIMIENTOS_PONY | Suma únicamente la cantidad de cocimientos de pony malta, esto lo hace apenas sale el agua al molino de malta. |
| CANTIDAD_SALIENTE_TOTAL_COCINAS | Suma la cantidad en hectolitros todos los cocimientos enviados hacia uniproceto. |
| INICIO_PONY | Variable con valores 0 y 1, cuando toma el valor de 1 se comienza a cocinar a cocinar pony malta (4 cocimientos), cumplidos los 4 cocimientos de pony se sigue cocinando cerveza y esta variable toma el valor de 0. |
| CONTADOR_CIP_FIN_SEMANA | Lleva la cuenta de los cocimientos entre aseos de fin de semana. Cada 55 cocimientos se incluye en tiempo de aseos en cocina pony malta. |
| CONTADOR_INICIO_PONY | Lleva la cuenta de los cocimientos de cerveza entre cocimientos de pony malta. Cada 110 cocimientos de cerveza se cocina pony malta. |
| CANTIDAD_SALIDA_CERV | Corresponde a la cantidad saliente por cocimiento de cerveza de la olla whirlpool hacia uniproceto. |
| CANTIDAD_SALIDA_PONY_COCINAS | Corresponde a la cantidad saliente por cocimiento de pony de la olla whirlpool hacia uniproceto. |
| TIEMPO_RETRASO_TOTAL_COCINAS | Lleva el tiempo total en horas que la cocina tiene que esperar por un unitanque vacío. |
| TIEMPO_RETRASO_COCINAS_POR_COCIMIENTO | Registra el tiempo que dura cada retraso en cocinas |
| COCIMIENTOS_A_UNIPROCESO_TOTALES | Contador de cocimientos entrantes a uniproceto. |
| HL_TANQUE1 | Cantidad en HL dentro del unitanque 1. |
| ETAPA_TANQUE1 | Proceso que se está llevando a cabo en el unitanque 1: si es 1=fermentación, 2=enfriamiento y 3=maduración. |
| CANTIDAD_UNITANQUES_EN_MADURACION | Muestra cuantos unitanques se encuentran en la etapa de maduración. |
| CANTIDAD_UNITANQUES_LISTOS | Muestra cuantos unitanques se encuentran listos para filtrar. |
| TIEMPO_PONY_UNIPROCESO | Tiempo de ocupación de la pony malta en el unitanque |
| FIN_ESTIMADO_PONY_UNIPROCESO | Calcula la hora que la pony malta estará lista en el unitanque. |
| COCIMIENTOS_EN_COCINAS_UNIPROCESO | Lleva la cuenta de cuantos cocimientos hay en cocinas y en uniproceto de tal manera de que no se cocine una cochada si no tiene un unitanque de destino listo. |
| TANQUE25_LISTO | Avisa que el proceso de propagación en el unitanque 25 ya ha finalizado. |
| DOWN_TANQUE1 | Muestra si el unitanque 1 se encuentra disponible, lleno o si este está en aseos. |
| CANTIDAD_TOTAL_MERMA_UNIPROCESO | Es el contador del total de merma en el uniproceto. |
| POCENTAJE_MERMA_UNIPROCESO | Cantidad de merma en porcentaje a través del tiempo para el área de uniproceto. |
| CANTIDAD_TOTAL_LLAMADAS | Cantidad de veces que se filtra un unitanque que no ha cumplido con sus 4 días de maduración. |
| CERVEZA_FILTRADA | Contador de cantidad total en HL de cerveza filtrada. |
| PONY_FILTRADA | Contador de cantidad total en HL de pony malta filtrada. |
| CICLO_FILTRO_CERV | Definida por una distribución que asigna la cantidad de cerveza que pasará durante el presente ciclo por el filtro para organizar todo el área de uniproceto y filtración. |
| CICLO_FILTRO_PONY | Definida por una distribución que asigna la cantidad de pony malta que pasará durante el presente ciclo por el filtro para organizar todo el área de uniproceto y filtración. |
| CANTIDAD_TOTAL_MERMA_FILTRACION | Es el contador del total de merma en el filtración. |
| POCENTAJE_MERMA_FILTRACION | Cantidad de merma en porcentaje a través del tiempo para el área de filtración. |
| TIEMPO_RETRASO_TOTAL_FILTRO | Lleva el tiempo total en horas que filtración tiene que esperar por un BBT vacío. |
| TIEMPO_RETRASO_FILTRO | Registra el tiempo que dura cada retraso en filtración |
| DOWN_MARCA_CONTRAPRESION1 | Es una variable que identifica el estado del BBT 1 y la marca que se encuentra ocupándolo. Valores: 0=BBT desocupado, 1= BBT llenándose con cerveza, 2= BBT llenándose con pony malta, 3= BBT en reposo o desocupándose. |
| CANTIDAD_TOTAL_ENVIADA_DEPOSITO_E1 | Cantidad en HL enviada al depósito por la línea de envase 1 (envase 175 ml) |
| CANTIDAD_TOTAL_ENVIADA_DEPOSITO_E2 | Cantidad en HL enviada al depósito por la línea de envase 2 (envase 330 ml) |
| CANTIDAD_TOTAL_MERMA_ENVASE1 | Es el contador del total de merma en la línea de envase 1. |
| CANTIDAD_TOTAL_MERMA_ENVASE2 | Es el contador del total de merma en la línea de envase 2. |
| ESTADO_ESTABLE | Instante en que el modelo llega a su estado estable, 0=estado inestable y 1=estado estable. |

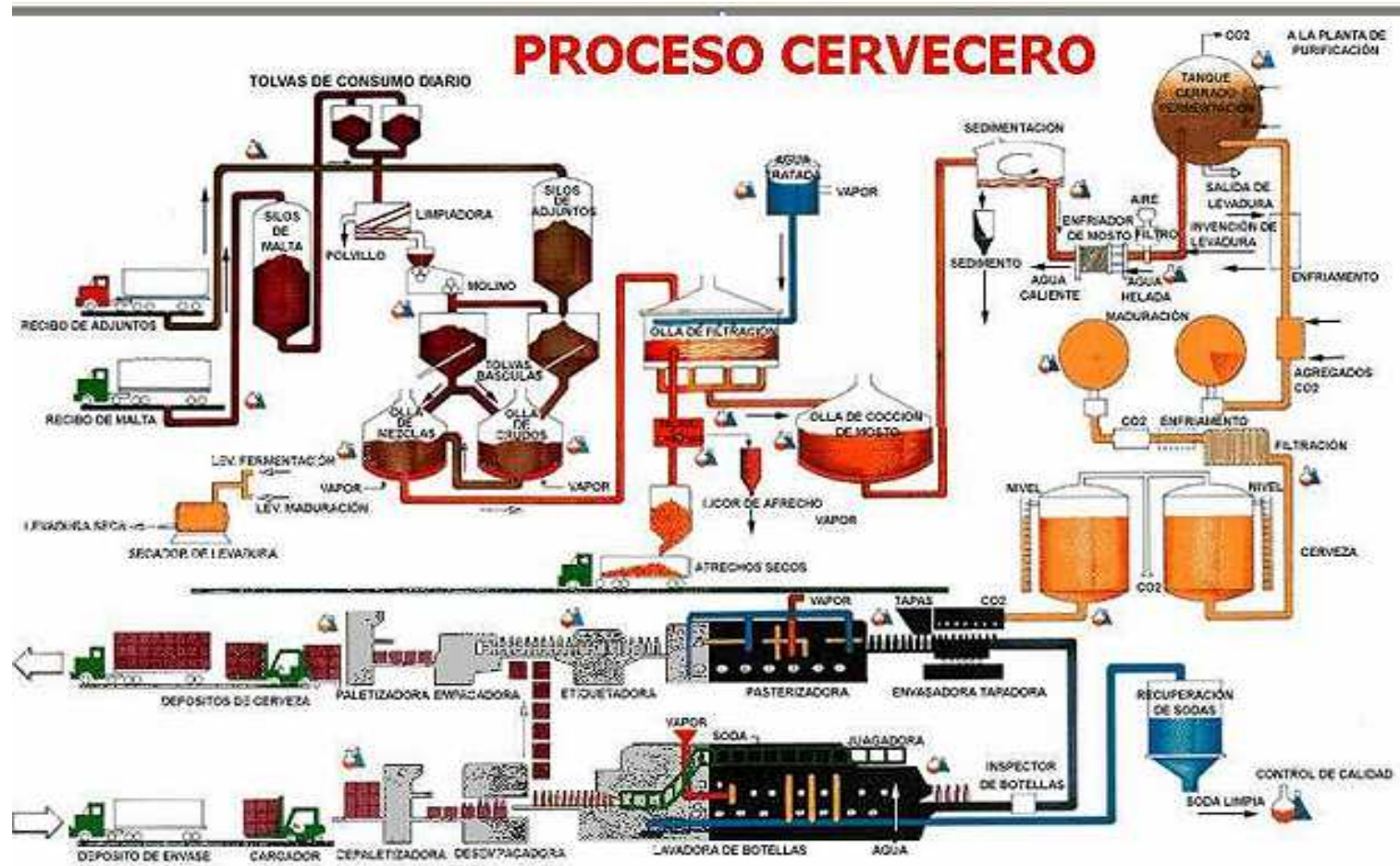
Anexo S. Modelo de simulación “Proceso Cervecerero Sistema Actual”.MOD

Anexo T. Archivo: Validaciones.xls

Anexo U. Archivos: Resultados de los modelos de simulación.txt y Resultados de los modelos de simulación. xls

Anexo V. Archivo: Variables de comparación.xls

Anexo W. Diagrama del proceso cervecero



Fuente: Documentos internos de BAVARIA

Anexo X. Archivo: Programación del modelo de simulación del Sistema Actual.txt