

**DESARROLLO DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE LAS PRINCIPALES
ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO, SEPPRAZ**

1.0.

**BREINER FAHEDI COBOS POLO
HECTOR DANIEL ROMERO ALFONSO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMEÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMATICA
BUCARAMANAGA**

2009

**DESARROLLO DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE LAS PRINCIPALES
ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO, SEPPRAZ**

1.0.

**BREINER FAHEDI COBOS POLO
HECTOR DANIEL ROMERO ALFONSO**

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS**

**DIRECTOR
M.E. FERNANDO RUÍZ DÍAZ**

**CODIRECTOR
DR VIATCHESLAV KAFAROV**

**ASESOR
ING. YEIMY LICETH MORALES PÉREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMEÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMATICA
BUCARAMANAGA**

2009

DEDICATORIA

*A MI MADRE POR DARMER LA VIDA
Y POR DARMER TODO SU AMOR.*

*A MIS ABUELAS POR ENSEÑARME A
SER COMPASIVO Y AMOROSO, POR
DARMER BUENOS CONSEJOS Y POR
DARMER TODA LA COMPRESIÓN.*

*A MI FAMILIA POR CREER EN MÍ Y
POR TODO EL APOYO QUE RECIBÍ.*

*A MIS EDUCADORES GRACIAS A
TODOS ELLOS POR ENSEÑARME A
NO COMETER SUS ERRORES.*

*A TODOS LOS QUE ME QUIEREN.
GRACIAS*

BREINER

A DIOS POR AYUDARME Y
PERMITIRME ALCANZAR OTRA
META DE MI VIDA.

A MI HIJO, POR SER FUENTE DE MI
INSPIRACION Y SENTIDO PARA
SEGUIR LUCHANDO.

A MIS PADRES Y MIS HERMANOS,
POR SU AMOR, SU APOYO
INCONDICIONAL, POR LA FE Y LA
CONFIANZA QUE DEPOSITARON EN
MI. A ELLOS LES DEBO TODO LO
QUE SOY.

A MIS AMIGOS QUE SIEMPRE
ESTUVIERON EN LOS MOMENTOS
QUE MAS LOS NECESITE.

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE DE
UNA U OTRA MANERA ME
APOYARON EN TODO ESTE
PROCESO.

MUCHAS GRACIAS A TODOS.

DANIEL.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al M.E. Fernando Ruiz Director y al DR Viatcheslav Kafarov director y codirector respectivamente del proyecto por permitir la elaboración de esta aplicación.

A los integrantes del CIDES en especial a YEIMY LICETH MORALES PÉREZ quienes colaboraron en la recolección y diseño de los modelos matemáticos necesarios para el simulador.

A los compañeros estudiantes que colaboraron con sus ideas o consejos para el diseño y trabajo de esta aplicación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 ASPECTOS GENERALES	3
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.2.1 <i>Definición Del Problema</i>	4
1.2.2 <i>Entidades Interesadas En El Proyecto</i>	5
1.2.3 <i>Impacto Y Viabilidad</i>	6
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 PRINCIPALES PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO.....	8
2.1.1 <i>Preparación y Molienda:</i>	8
2.1.2 <i>Clarificación del Jugo</i>	9
2.1.3 <i>Evaporación</i>	10
2.1.4 <i>Clarificación De La Meladura</i>	11
2.1.5 <i>Cristalización</i>	12
2.1.6 <i>Secado</i>	13
2.1.7 <i>Servicios industriales (Vapor)</i>	14
2.2 TECNOLOGÍAS SOFTWARE.....	14
2.2.1 <i>Microsoft® Visual Studio® 2008</i>	14
2.2.2 <i>Microsoft .NET Framework 3.5</i>	18
2.2.3 <i>PDFSharp©</i>	21
2.2.4 <i>ZedGraph© .Net Biblioteca para Graficar</i>	22
3 REQUISITOS Y ANALISIS DE SISTEMA	25
3.1 METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO.....	25
3.1.1 <i>Desarrollo evolutivo</i>	25

3.1.2	<i>PLAN DE TRABAJO</i>	26
3.1.3	<i>Recolección Y Refinamiento De Requisitos</i>	27
3.1.4	<i>Diseño rápido</i>	28
3.1.5	<i>Construcción Del Prototipo</i>	28
3.1.6	<i>Evaluación del prototipo por el cliente</i>	28
3.1.7	<i>Refinamiento del prototipo</i>	28
3.1.8	<i>Producto de ingeniería</i>	29
3.2	ANÁLISIS DE REQUISITOS	29
3.3	REQUISITOS FUNCIONALES DEL SISTEMA	32
3.3.1	<i>Diagramas de casos de usos</i>	32
3.3.2	<i>Diagramas de Subsistemas</i>	36
3.3.3	<i>Diagramas de estado</i>	36
3.3.4	<i>Diagrama de Secuencias</i>	38
3.3.5	<i>Definición de casos de usos</i>	39
3.3.6	<i>Definición de casos de usos</i>	39
4	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	44
4.1	PRIMER PROTOTIPO	44
4.1.1	<i>Estructuras</i>	46
4.1.2	<i>Controles</i>	47
4.1.3	<i>Formularios</i>	47
4.1.4	<i>Generic List</i>	48
4.1.5	<i>Formularios de Resultados</i>	49
4.1.6	<i>Evaluación del prototipo por el cliente</i>	50
4.2	SEGUNDO PROTOTIPO	52
4.2.1	<i>Versión 2.0</i>	54
4.3	TERCER PROTOTIPO	56
4.3.1	<i>Versión 3.0</i>	57
4.3.2	<i>Versión 3.1</i>	59
4.3.3	<i>Versión 3.3</i>	61

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6	BIBLIOGRAFIA.....	66
6.1	LIBROS.....	66
6.2	PROYECTOS DE GRADO	66
6.3	INTERNET.....	66

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1: Componentes de la plataforma .NET	15
FIGURA 2:	17
FIGURA 3: Componentes de la arquitectura del .Net framework.....	19
FIGURA 4: Ejemplo PDF creado con la librería PdfSharp	21
FIGURA 5: ZedGraph_demo.exe.....	22
FIGURA 6: Modelo Creación de Desarrollo Evolutivo.....	25
FIGURA 7: Modelo de Desarrollo Evolutivo.....	26
FIGURA 8: Diagrama de casos de usos de actores del sistema.	32
FIGURA 9: Diagramas De Casos De Uso Interfaz grafica de usuario	33
FIGURA 10: Diagrama de casos de usos de Simulación por Etapas	34
FIGURA 11: Diagrama de casos de usos para las etapas de la simulación general	35
FIGURA 12: Diagrama de Subsistemas	36
FIGURA 13: Diagrama de Estados de las Etapas	36
FIGURA 14: Diagrama de Estados – Sub-estado Mostrar Resultados.....	37
FIGURA 15: Diagrama de Secuencias – Proceso de Simulación de las etapas....	38
FIGURA 16: Diseño Formulario de Bienvenida para el primer prototipo.....	50
FIGURA 17: Diseño del Formulario Principal para el Primer prototipo	51
FIGURA 18: Diseño del Formulario Principal para el Segundo Prototipo	54
FIGURA 19: Diseño del Formulario de la Etapa de Preparación y Molienda para el Segundo Prototipo	55
FIGURA 20: Diseño del Formulario de Bienvenida Para el tercer Prototipo	57
FIGURA 21: Grafica de Barras de Extracción de jugo para la etapa de Preparación y Molienda.	58
FIGURA 22: Grafica de Torta de la Etapa de Preparación y Molienda.....	59
FIGURA 23: Diseño de la Plantilla para los reportes Pdf.....	60
FIGURA 24: Análisis de Sensibilidad.....	62

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Requisito 01	29
Tabla 2: Requisito 02	29
Tabla 3: Requisito 03	30
Tabla 4: Requisito 04	30
Tabla 5: Requisito 05	30
Tabla 6: Requisito 06	30
Tabla 7: Requisito 07	31
Tabla 8: Requisito 08	31
Tabla 9: Definición de Actores	39
Tabla 10: Caso de uso – Bienvenida	39
Tabla 11: Caso de uso – Simulación	40
Tabla 12: Caso de uso - Ayuda	41
Tabla 13: Caso de uso – Etapas del Proceso	41
Tabla 14: Caso de uso – Modificar Datos	41
Tabla 15: Caso de uso – Iniciar la Simulación	42
Tabla 16: Caso de uso – Mostrar resultados	42
Tabla 17: Flujo de Datos Necesarios para Clarificación de Jugo.....	44
Tabla 18: Flujo de Datos Necesarios para Evaporación	45
Tabla 19: Flujo de Datos Necesarios para Clarificación de la Meladura.....	45
Tabla 20: Flujo de Datos Necesarios para Cristalización.....	45
Tabla 21: Flujo de Datos Necesarios para Secado.....	46
Tabla 22: Flujo de Datos Necesario para Servicios Industriales	46
Tabla 23: Formularios	47
Tabla 24: Controles.....	48
Tabla 25: Formularios de Resultados	49
Tabla 26: Segundo Prototipo	52
Tabla 27: Análisis de Sensibilidad	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR.....	68
ANEXO B MANUAL DE USUARIO.....	89
ANEXO C MANUAL TÉCNICO.....	113

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE LAS PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO, SEPPRAZ 1.0*

**AUTORES: COBOS POLO, BREINER FAHEDI
ROMERO ALFONSO, HÉCTOR DANIEL****

PALABRAS CLAVES

SIMULACIÓN, MICROSOFT VISUAL STUDIO 2008, C#.NET, PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO, ESTADO ESTABLE.

DESCRIPCIÓN

La principal materia prima en el proceso de producción de azúcar es la caña de azúcar, a partir de esta se produce el 70% del total de azúcar mundial. Colombia en la actualidad se posiciona dentro del grupo de los mayores productores y exportadores de azúcar con una producción aproximada de 168 Ton en el 2007, por valor de \$148 mil millones en utilidades netas***. Dicha producción es alcanzada en 13 ingenios azucareros ubicados en la región del Valle del Rio Cauca. En el transcurso de los últimos años estos han venido implementando diferentes programas para la optimización de sus procesos, con este fin ha involucrado aspectos tecnológicos y económicos que le permitan alcanzar un mejor rendimiento, menores pérdidas de sacarosa, mayores eficiencias energéticas en sus procesos y disminuir los costos de operación para mejorar la rentabilidad del sector.

SEPPRAZ 1.0 permite simular con base a un modelo en estado estable las etapas de preparación y molienda, preparación del jugo, evaporación, clarificación de la meladura, cristalización, secado, servicios auxiliares.

Facilitando representar el proceso de producción de azúcar, identificar puntos críticos, evaluar proyectos de mejoramiento, manejar y conocer variables y corrientes del proceso en general y corrientes propias de cada una de las etapas, así como evaluar los gastos energéticos de cada una de las etapas, con una interfaz grafica amigable de manera que pueda ser usada para toma de decisiones por parte de los administradores y capacitación de personal técnico.

* Trabajo de Investigación.

** Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e informática.

Director: M.E. Fernando Ruiz Díaz.

*** ASOCAÑA Informe anual 2007 – 2008.

ABSTRACT

TITLE: “DEVELOPMENT OF SIMULATION SOFTWARE OF THE MAIN STAGES OF THE WHITE SUGAR PRODUCTION PROCESS SEPPRAZ 1.0”

**AUTHORS: COBOS POLO BREINER FAHEDI
ROMERO ALFONSO HÉCTOR DANIEL****

KEY WORDS

Simulation, Microsoft Visual Studio 2008, c#.net, white sugar production process, steady state.

DESCRIPTION

The main raw material in the white sugar production process is the sugar cane, it is through this than the 70% of all the world's sugar is produce and actually Colombia counts with 13 sugar refineries, which take the country inside the biggest production and exportation sugar group with 168 tons approximated production in the 2007, with a value of \$148 thousand million in net profits***. This prospect shows the importance of the sugar sector in the national economy and the necessity of strengthen it in order to convert it in a more competitive sector in an international level. Through the last years the sugar industry has been implementing several programs looking for the optimization of its process, with this intention it has involved technological and economical aspects that let it reach less sucrose loses, a bigger energetic efficiency and in its process, these changes have let it decrease the operation costs and improve the sector benefits.

SEPPRAZ 1.0 allow to simulate using a steady state model, the stages of preparation and milling, juice preparation, evaporation, clarification of syrup, crystallization, drying and auxiliary services.

Making easier the sugar process representation, identify critical points, to evaluate improvement projects, to manage and know variables and the process flow in general and the proper flow at every phase, in the same way evaluate the energy spent at every phase, with a friendly graphic interface in order it can be use in the managers making decision process and technical human resource training.

* Investigation Project.

** Physics - mechanics Faculty of Engineering Systems and Computing Engineer School.

Director: M.E. Fernando Ruiz Díaz.

*** ASOCAÑA annual inform 2007 – 2008

INTRODUCCIÓN

Las mejoras tecnológicas que se han implementado usando herramientas de simulación de procesos han reformando radicalmente el procedimiento de toma de decisión para el sector industrial. El desarrollo en este campo ha permitido que se evalúe detalladamente el desempeño de los procesos, cambios en su configuración, mejoras tecnológicas, ventajas y desventajas de implantar nuevos procesos y equipos, etc. Simultáneamente han proporcionado mayor exactitud, menor costo y grandes ahorros de tiempo. Años atrás estos cambios eran evaluados con grandes esfuerzos por parte de equipos de ingenieros con altas inversiones de tiempo y dinero, conllevando en muchas ocasiones con la pérdida del capital y el tiempo invertido al no obtener los resultados esperados. Actualmente las herramientas software para la simulación con base en modelos matemáticos que describen los procesos son usadas en diferentes campos de la ciencia y la ingeniería permitiendo; evaluar el desempeño de diversos procesos, realizar el diseño de nuevas plantas de obtención de productos, evaluar la viabilidad de proyectos de ampliación, conciliar datos de un proceso, obtener información sobre corrientes que por falta de instrumentación o riesgo de los operarios no puede ser medida, plantear análisis de integración energética o integración de corrientes de masa, entre otros, además de ser usadas como herramientas para la toma de decisiones por parte de los directivos y operarios del proceso.

En Colombia los ingenios azucareros poseen una gran tradición dentro de la industria nacional, y esto ha conllevado al desarrollo de un gran conocimiento empírico de este. Sin embargo este sector ha visto la necesidad de desarrollar un conocimiento matemático que le permita implantar herramientas que busquen aumentar la productividad y la eficiencia energética de los procesos. La producción de azúcar comprende diversas etapas que van desde la recepción de la caña que es entregada al ingenio para su procesamiento, pasando por etapas de extracción, purificación, y concentración hasta llegar finalmente a la obtención

de los cristales de azúcar que posteriormente se comercializarán como azúcar blanco o serán llevados a un siguiente proceso de refinación para la obtención de azúcar de alta pureza.

Este proyecto busca desarrollar una herramienta software amigable al usuario que permita simular las principales etapas del proceso de producción de azúcar, dicha simulación se basará en un modelo matemático en estado estable a partir de ecuaciones de balance de masa, energía y correlaciones empíricas reportadas por la literatura consultada y por centros de investigación especializados. Dicho modelamiento permitirá inicialmente una mayor comprensión de las principales etapas del proceso para la obtención de azúcar blanco, posteriormente a través de la simulación integrar las principales etapas del proceso, de tal modo que el cambio de los parámetros de cualquier etapa inicial (por ejemplo molienda) se vea representada en etapas posteriores y parámetros generales del proceso como calidad y cantidad del azúcar, consumos energéticos generales y de cada etapa, cantidad de residuos, consumo de servicios industriales (agua, vapor, electricidad, combustible, entre otros), además de evaluar la influencia de las principales variables e identificar aquellas que intervienen en gran medida en la eficiencia del proceso y en cada una de sus etapas. Dicha herramienta además debe ser amigable al usuario de tal manera que permita aplicarla como instrumento de toma de decisiones para los directivos y operadores de la planta así como para capacitación de personal técnico.

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación software para simular las principales etapas del proceso de producción de azúcar blanco y facilitar la formulación de estrategias para la toma de decisiones.

1.1.2 Objetivos Específicos

Desarrollar una ayuda computacional que permita ilustrar los modelos matemáticos en estado estable de las etapas del proceso de producción de azúcar blanco a partir de caña de azúcar.

- Preparación y Molienda
- Clarificación del jugo
- Evaporación
- Clarificación de la meladura
- Cristalización
- Secado
- Servicios auxiliares

Diseñar y colocar en marcha una aplicación software de simulación que permita estimar el impacto de diferentes variables en las principales etapas del proceso de producción de azúcar blanco, como fundamento para la toma de decisiones.

Construir un Modulo de presentación grafica, para ilustrar los resultados de las principales etapas del proceso de producción de azúcar blanco.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de una aplicación software se requiere para cumplir con uno de los objetivos del marco del programa estratégico *“OPTIMIZACION DEL PROCESO DUAL DE PRODUCCIÓN SIMULTANEA (AZUCAR- ALCOHOL) Y DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE” RC 3362007*, aprobado por COLCIENCIAS. El cual debe simular las principales etapas del proceso de producción de azúcar, dicha simulación se basara en un modelo matemático en estado estable a partir de ecuaciones de balance de masa, energía y correlaciones empíricas reportadas por la literatura y por centros de investigación especializados.

Para el sector azucarero colombiano la simulación permitirá integrar las principales etapas del proceso así como evaluar e identificar variables importantes para el proceso general y para cada una de las etapas como lo son, los consumos energéticos, la cantidad de residuos, consumo de servicios auxiliares (agua, vapor, electricidad, combustible, entre otros), etc.

Se necesita para poder utilizar un instrumento de toma de decisiones para los directivos en base a resultados probados con anterioridad que mejoran la eficiencia para las condiciones cambiantes de la naturaleza y del medio. Y permita la capacitación de personal técnico y operadores de la planta demostrando la información relevante de las diferentes etapas del proceso de producción.

1.2.1 Definición Del Problema

La industria azucarera ocupa un lugar importante dentro de la economía del país, sin embargo como en cualquier otra industria de bienes primarios, su supervivencia está dada tanto por la eficiencia en su producción como por los costos de la misma, años atrás dichas metas se alcanzaban a través de estudios los cuales eran realizados con grandes esfuerzos por parte de equipos de ingenieros con altas inversiones de tiempo y dinero, conllevando en muchas ocasiones con la pérdida del capital y el tiempo invertido al no obtener los resultados esperados. Actualmente dicha industria busca usar aplicaciones software de simulación con el fin de desarrollar estas metas con menores inversiones del capital humano y financiero.

Hoy por hoy la industria azucarera colombiana viene buscando aumentar su competitividad a nivel mundial con el fin de satisfacer las exigencias del mercado, en cuanto a precios y calidad del azúcar. Dichas metas sumadas al aumento del portafolio de servicios con la producción a partir del 2005 de etanol combustible a partir de las mieles obtenidas del jugo de la caña y a la búsqueda por ingresar al mercado eléctrico nacional (generando energía a través del bagazo obtenido en la molienda) han despertado un gran interés por la búsqueda de un mayor conocimiento en sus procesos, con el fin de alcanzar un aumento en su eficiencia; dichos objetivos serán alcanzados mediante un proceso continuo de investigación que a su vez se apoye en la tecnología, como lo son específicamente el uso de aplicaciones computacionales que permitan evaluar la eficiencia en los procesos mediante simulaciones para posteriormente plantear estrategias para la reducción de costos y tiempos, además de generar un conocimiento más amplio y detallado sobre sus procesos, y permitir a futuro tener un mejor control sobre cada uno de estos.

1.2.2 Entidades Interesadas En El Proyecto

Sector azucarero colombiano compuesto actualmente por 13 ingenios.

Centro de investigación especializado en la producción de azúcar (CENICAÑA).

1.2.3 Impacto Y Viabilidad

- Impacto

El centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía de la Universidad Industrial de Santander contará con un simulador que facilitara su investigación acerca de los procesos de producción de azúcar, reduciendo el tiempo que se gasta para realizar estos análisis, alcanzando una mayor exactitud y menor costo al evaluar los gastos energéticos de cada una de las etapas y definir políticas de producción optimas.

Se contara con una posibilidad de mejorar el adiestramiento y capacitación para al personal técnico encargado de los procesos de producción, demostrando las etapas del proceso en el simulador en un breve tiempo.

Los ingenios azucareros asociados podrán hacer un análisis acertado y oportuno que permitirá adaptarse mejor a los cambios exógenos de la producción y evaluar proyectos de mejoramiento así como incrementar sus eficiencias y reducir sus costos de operación permitiendo grandes avances en la industria azucarera del país.

Una recopilación de los modelos matemáticos obtenidos en estado estable para las principales etapas del proceso de producción de azúcar blanco.

- Viabilidad

Para la realización de este proyecto se utilizaran herramientas de desarrollo como el lenguaje C# de la plataforma educativa de visual studio.net 2005 (versión Express), corre para S.O. Windows XP y Windows Vista de Microsoft.

Se tiene a disponibilidad las salas y equipos del centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía de la escuela de ingeniería química

de la universidad, para su utilización en desarrollo, pruebas e investigación en general.

Se contará con la asesoría especializada por parte de los estudiantes de maestría de la escuela de química, para la capacitación y manejo de los modelos matemáticos, mecánicos y fisicoquímicos, así como para realizar las pruebas de ajuste.

Hace parte del marco del programa estratégico *“OPTIMIZACION DEL PROCESO DUAL DE PRODUCCIÓN SIMULTANEA (AZUCAR- ALCOHOL) Y DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE” RC 3362007*, aprobado por COLCIENCIAS.

De acuerdo a estos factores, el desarrollo del simulador SEPPRAZ1.0 propuesto se puede llevar a cabo como una solución factible a una necesidad presentada en el interior del Programa de Emprendimiento.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 PRINCIPALES PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO

El proceso de producción de azúcar se puede dividir en varias etapas principales para la obtención del producto final, a continuación se describen estas etapas.

2.1.1 Preparación y Molienda:

La etapa de preparación y molienda comienza cuando la caña que ha sido cosechada es transportada a los ingenios para comenzar el proceso para la producción de azúcar.

Una vez la caña es trasladada a los patios de los ingenios en carros y trenes cañeros, esta se pesa en grandes basculas de plataforma, luego la caña es descargada a través de grúas para caña y es colocada en las mesas alimentadoras que poseen un ángulo de inclinación de 45° para su posterior limpieza.

Una vez en las mesas alimentadoras la caña puede ser o no lavada, el lavado de la caña se realiza usando una lluvia de agua con el fin de retirar impurezas que esta acarrea desde el lugar de cultivo.

El lavado de la caña puede contribuir a disminuir el desgaste en los equipos de molienda, y del sistema de bombeo de jugo en la planta, además permite reducir las pérdidas de sacarosa en los filtros debido a la presencia de materia extraña.

Una vez lavada la caña esta pasa por la etapa de preparación, que usa unos sistemas de cuchillas giratorias que buscan cortar la caña pero sin extraer el jugo y/o desfibradoras que reducen la caña a tiras, con el fin de alimentar una masa uniforme a la etapa de molienda.

Posteriormente la caña a la cual se le ha reducido su tamaño ingresa al sistema de molienda el cual es el encargado de extraer el jugo de la caña, el sistema de

molienda consiste de 5 o 6 molinos (o tándem) dispuestos en serie por el cual pasa la caña, cada Molino consta de tres o cuatro rodillos (mazas) que están dispuesto en forma triangular a través de los cuales pasa la caña o bagazo. Este proceso se puede llevar a cabo de forma simple o agregando una corriente de agua caliente en el último molino, el jugo obtenido en este se devuelve al penúltimo y este a su vez al anterior, con el fin de mejorar la extracción, este proceso se conoce con el nombre de imbibición.

El jugo obtenido se lleva a tanques de almacenamiento en el cual se pesa y se conduce a la siguiente etapa de purificación del jugo.

2.1.2 Clarificación del Jugo

El jugo obtenido en la etapa de molienda se conoce con el nombre de jugo diluido, al salir de los molinos dicho jugo contiene residuos sólidos así que una vez este sale de la etapa de molienda y luego de pesarlo este es pasado a través de un filtro que permitirá retirar residuos sólidos como el bagacillo.

El jugo diluido proveniente de la molienda es ácido y turbio, una vez retirado el bagacillo que se encuentra en el jugo, este es llevado al proceso de clarificación, este proceso busca eliminar impurezas solubles e insolubles con ayuda de agentes clarificantes.

Inicialmente se agrega al jugo cierta cantidad de lechada de cal, con el fin de neutralizar la acidez natural del jugo la cual es producida por algunos ácidos orgánicos y así llevar el jugo a un pH mayor que 7, con el fin de mejorar el proceso de clarificación. El proceso de encalado debe llevarse a cabo con precaución ya que un sobre encalado, junto a altas temperaturas promueve la formación de azúcares reductores por descomposición térmica. También un pobre encalado puede llevar a la formación de azúcares reductores por hidrólisis de la sacarosa.

El jugo encalado, pasa por calentadores, hasta alcanzar temperaturas cercanas a los 105 °C, este jugo es llevado a tanques en los cuales se agregan agentes floculantes con el fin de formar un precipitado denso que contiene sales insolubles, fosfatos de calcio, junto a diferentes clases de ceras y gomas. Previamente el jugo fue flasheado para eliminar burbujas presentes.

El jugo clarificado sale por el rebose del clarificador y pasa por sistemas de filtro para retirar bagacillo e impurezas antes de ser llevado al proceso de evaporación, por otro lado el precipitado obtenido en el clarificador es conducido posteriormente a una etapa de filtración; en esta se mezcla con bagacillo, con el fin de obtener una torta y extraer la sacarosa remanente presente en estos residuos, el filtrado es devuelto al principio de la etapa de purificación mientras que la torta del filtro se desecha con el nombre de cachaza. La cachaza contiene nutrientes que han permitido usarla como abono en los cultivos.

2.1.3 Evaporación

El proceso de evaporación es la tercera etapa dentro del proceso de producción de azúcar, en esta etapa se busca concentrar la solución de sacarosa en el jugo hasta valores cercanos a los 65° Brix. La corriente de salida de los evaporadores se conoce con el nombre de jarabe y meladura esta será posteriormente alimentada al proceso de cristalización.

El jugo clarificado posee una alta composición de agua cerca al 85%, el proceso de evaporación consiste en retirar cerca de dos tercios del agua presente, para esto el jugo se hace pasar por un sistema de evaporación al vacío dispuesto en serie donde la solución sacarosa-agua se evapora cada vez a temperaturas más

bajas gracias a que en cada uno de los cuerpos posee un nivel de vacío mayor que el anterior.

En este proceso los vapores generados por cada uno de los efectos pueden ser utilizados como alimento para el calentamiento del siguiente, dicho vapor se conoce como vapor vegetal, este sistema se conoce como “evaporación de múltiple efecto”. El vapor obtenido finalmente en el último cuerpo será llevado a condensación. La cantidad de agua evaporada durante el proceso es aproximadamente el 75% del peso total del jugo clarificado.

2.1.4 Clarificación De La Meladura

Este proceso utiliza diferentes etapas y depende del ingenio. La meladura contiene hierro presente en forma de óxidos u otros compuestos los cuales le dan color. La sulfitación es el proceso por el cual se hacen reaccionar el hierro de los compuestos presentes en meladura cruda con bióxido de azufre (SO_2) para formar sales que son compuestos incoloros y por lo tanto mejoran la calidad del azúcar.

Este proceso se puede hacer en frío o caliente y tiene como consecuencia una caída en el pH (hasta ± 5.2) y a la temperatura de la meladura ($\pm 60^\circ\text{C}$) podemos presentar problemas de formación de azúcares reductores por hidrólisis ácida de la sacarosa. Para evitar este problema se encala rápidamente para neutralizar este pH.

Inmediatamente después se agrega ácido fosfórico, este ácido forma puentes fosfato – calcio que constituyen la floculación primaria por medio de la cual se recogen impurezas. Esta meladura es calentada y llevada al clarificador en el cual se forma una espuma sobrenadante que contiene las impurezas y la meladura pasa a cristalización.

2.1.5 Cristalización

El proceso de cristalización es un proceso de una gran importancia en el la producción de azúcar, durante este proceso se producirán los cristales que finalmente serán entregados al consumidor final.

Cristalización es la formación de partículas sólidas a partir de una fase homogénea, en el caso del azúcar a partir de una disolución bifásica formada por una fase líquida, que es la meladura, junto con una fase sólida que son los cristales. Para que los cristales puedan ser formados o exista su crecimiento se requiere una fase líquida sobresaturada, esta puede ser obtenida por enfriamiento o calentamiento de la soluciones bajo ciertas condiciones. En la industria del azúcar el proceso de cristalización es muy importante ya que en esta etapa del proceso depende el tamaño, la calidad y la forma del cristal. Este proceso debe realizarse de forma adecuada, en un tiempo razonable, minimizando la formación de grano fino por núcleo-acción.

Para el proceso de producción de azúcar, la etapa de cristalización empieza cuando la corriente de jarabe o meladura proveniente de la etapa de purificación de la meladura llega a la sección de tachos, los tachos son evaporadores al vacío de un solo efecto, donde se evaporara el agua que contiene la solución hasta llevarla a sobresaturación. En este punto el tacho es alimentado con una corriente polvillo de azúcar finamente molido los cuales servirán como núcleos para los cristales de azúcar, el crecimiento de los cristales continua hasta que el tacho se encuentre totalmente lleno, en este momento la masa dentro del tacho se conoce como templa o masa cocida. El tachero o encargado de la sección de tachos determina a través de la observación de la masa dentro del tacho el momento de la siembra y el momento en que la templa se encuentra lista para descargar.

Centrifugación: Una vez obtenida la masa cocida dentro del tacho es necesario separar la miel que no ha cristalizado de los cristales de azúcar que se encuentran

en esta; La masa cocida o templada es entonces alimentada a la sección de centrifugas. Las centrifugas son equipos provistos de una cesta perforada suspendida en la parte inferior de un eje vertical giratorio cubierto por un medio filtrante, la cesta gira a gran velocidad, el líquido se escapa por entre la malla y los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugas, durante la operación es posible agregar agua para separar mayor cantidad de material soluble.

Las mieles obtenidas en esta etapa vuelven a los tachos, o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico en la destilería. El azúcar de primera calidad retenido en las mallas de las centrifugas es llevado a una posterior etapa de secado con el fin de reducir su humedad y se empaca para ser distribuido como azúcar blanco o puede ser disuelto con agua caliente y enviado a posteriores etapas de refinación para obtener azúcar de alta pureza.

2.1.6 Secado

En la etapa de secado el azúcar húmedo que proviene de las centrifugas es llevado a secadores en los cuales se alimenta aire caliente en contracorriente con el flujo del azúcar.

En esta etapa se retira el agua que contiene los cristales hasta alcanzar valores de humedad menores del 0.05%. Una vez los cristales están secos son empacados de acuerdo a las diferentes presentaciones que demande el mercado. El producto que se obtiene al final de todo el proceso se conoce con el nombre de azúcar blanco con purezas que alcanzan el 99 %, la operación de secado se lleva a cabo en un secador rotatorio que opera a contracorriente con aire caliente el cual reduce el contenido de humedad de los cristales de azúcar mientras estos recorren lentamente el secador.

2.1.7 Servicios industriales (Vapor)

En este proceso se produce la energía térmica necesaria para las diferentes etapas del proceso y también se puede generar parte de la energía eléctrica que este demanda es posible proponer diferentes esquemas usando diferentes tipos de calderas, turbinas y motores que permiten obtener mayores eficiencias energéticas y así satisfacer la demanda de energía térmica y eléctrica del proceso y además generar excedentes de energía eléctrica que pueden ser vendidos a la red nacional.

La generación de vapor para la producción de azúcar se lleva a cabo en calderas acua-tubulares que permiten alcanzar mayores presiones que otro tipo de calderas, esto para que puedan suplirse las necesidades del proceso. Estas calderas pueden operar usando diferentes tipos de combustible, depende de las facilidades económicas y técnicas del proceso en el cual se usen, en el caso de la producción de azúcar se usan como combustibles el carbón, y el bagazo que es un subproducto obtenido durante la molienda de la caña.

El vapor obtenido en la caldera es llevado a turbinas, maquinas de vapor y además pasa por válvulas que permitan regular la presión del vapor antes de ser llevado a los diferentes procesos, como la preparación y molienda, calentamiento primario y secundario del jugo diluido en la etapa de purificación del jugo, evaporadores y tachos, secado del azúcar y también es usado para limpieza de equipos entre otros.

2.2 TECNOLOGÍAS SOFTWARE

2.2.1 Microsoft® Visual Studio® 2008

Microsoft .NET es una plataforma de desarrollo y ejecución de aplicaciones. Esto quiere decir que brinda todas las herramientas y servicios que se necesitan para desarrollar modernas aplicaciones empresariales y de misión crítica, también nos provee de mecanismos robustos, seguros y eficientes para asegurar que la ejecución de las mismas sea óptima. Los componentes principales de la plataforma .NET son:

- Un entorno de ejecución de aplicaciones, también llamado “Runtime”, que es un componente de software cuya función es la de ejecutar las aplicaciones .NET e interactuar con el sistema operativo ofreciendo sus servicios y recursos.
- Un conjunto de bibliotecas de funcionalidades y controles reutilizables, con una enorme cantidad de componentes ya programados listos para ser consumidos por otras aplicaciones.
- Un conjunto de lenguajes de programación de alto nivel, junto con sus compiladores y linkers, que permitirán el desarrollo de aplicaciones sobre la plataforma .NET.
- Un conjunto de utilitarios y herramientas de desarrollo para simplificar las tareas más comunes del proceso de desarrollo de aplicaciones
- Documentación y guías de arquitectura, que describen las mejores prácticas de diseño, organización, desarrollo, prueba e instalación de aplicaciones .NET*

FIGURA 1: Componentes de la plataforma .NET

* Material Desarrollador Cinco Estrellas. Microsoft



Fuente: Material Desarrollador Cinco Estrellas de Microsoft

A continuación se describen algunas de las características principales de la plataforma Microsoft .NET:

- Se dice que es una plataforma de ejecución intermedia, ya que las aplicaciones .NET no son ejecutadas directamente por el sistema operativo, como ocurre en el modelo tradicional de desarrollo. En su lugar, las aplicaciones .NET están diseñadas para ser ejecutadas contra un componente de software llamado Entorno de Ejecución (muchas veces también conocido como “Runtime” o “Máquina Virtual”). Este componente es el encargado de manejar el ciclo de vida de cualquier aplicación .NET, iniciándola, deteniéndola, interactuando con el Sistema Operativo y proveyéndole servicios y recursos en tiempo de ejecución.
- La plataforma Microsoft .NET está completamente basada en el paradigma de Orientación a Objetos.
- .NET es multi-lenguaje: esto quiere decir que para poder codificar aplicaciones sobre esta plataforma no necesitamos aprender un único lenguaje específico de programación de alto nivel, sino que se puede elegir de una amplia lista de

opciones. Veremos este tema con mayor detalle más adelante en la presentación.

- .NET es una plataforma que permite el desarrollo de aplicaciones empresariales de misión crítica, entendiéndose por esto que permite la creación y ejecución de aplicaciones de porte corporativo que sean críticas para la operación de tipos variados de organizaciones. Si bien también es muy atrayente para desarrolladores no profesionales, estudiantes y entusiastas, su verdadero poder radica en su capacidad para soportar las aplicaciones más grandes y complejas.
- .Net fue diseñado de manera tal de poder proveer un único modelo de programación, uniforme y consistente, para todo tipo de aplicaciones (ya sean de formularios Windows, de consola, aplicaciones Web, aplicaciones móviles, etc.).
- .NET no sólo se integra fácilmente con aplicaciones desarrolladas en otras plataformas Microsoft, sino también con aquellas desarrolladas en otras plataformas de software, sistemas operativos o lenguajes de programación. Para esto hace un uso extensivo de numerosos estándares globales que son de uso extensivo en la industria. Algunos ejemplos de estos estándares son XML, HTTP, SOAP, WSDL y UDDI.

FIGURA 2:

Microsoft ® Visual Studio ® 2008.NET



Fuente: Material Desarrollador Cinco Estrellas de Microsoft

Visual Studio 2008 ofrece avances clave para desarrolladores en función de los siguientes tres pilares:

- Desarrollo rápido de aplicaciones.
- Colaboración eficiente entre equipos.
- Innovación en experiencias de usuario.

Además de todas las características y funcionalidades existen ventajas para desarrollar aplicaciones Visual C# .NET como lo es el ser un lenguaje orientado a objetos y componentes y una sintaxis derivada de C, C++, Delphi y Java.

2.2.2 Microsoft .NET Framework 3.5

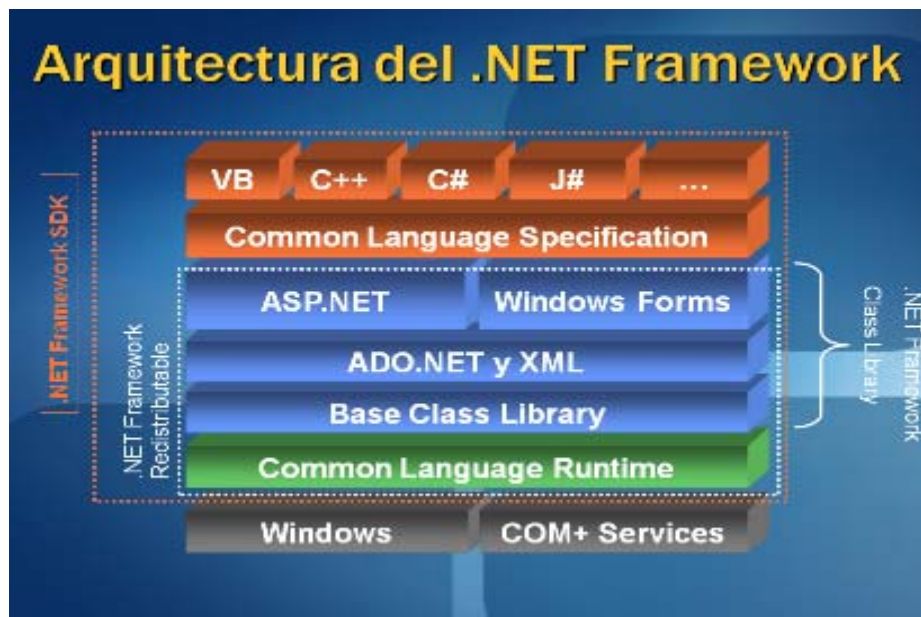
El .NET Framework (traducido como “Marco de Trabajo”) es el componente fundamental de la plataforma Microsoft .NET, necesario tanto para poder desarrollar aplicaciones como para poder ejecutarlas luego en entornos de prueba o producción. El .NET framework tiene tres variantes principales que son:

- .NET Framework Redistributable Package: este es el mínimo componente de la plataforma .NET que se necesita para poder ejecutar aplicaciones, y está compuesto por:
 - El entorno de ejecución de la plataforma .NET
 - Las bibliotecas de funcionalidad reutilizable
- .NET Framework SDK: esta versión contiene herramientas de desarrollo de línea de comandos (compiladores, depuradores, etc.), documentación de referencia, ejemplos y manuales para desarrolladores de aplicaciones.

El .NET Framework puede ser instalado en cualquier sistema operativo de la familia Windows superior a Windows 98. Actualmente, Windows 2003 Server y Windows XP SP2 traen el .NET Framework pre instalado.

El .NET Framework debe estar instalado en cualquier dispositivo de hardware para que la ejecución de una aplicación .NET sea posible. En el caso de las aplicaciones de escritorio (también llamadas “De Formularios Windows”) y las aplicaciones de consola (aplicaciones cuya interfaz de usuario es una consola de comandos), el Framework debe estar presente del lado del cliente (computadora donde se ejecuta la parte de la aplicación que interactúa con el usuario), y en el servidor sólo en caso de que la aplicación sea distribuida y tenga parte de su funcionalidad centralizada en una única computadora*.

FIGURA 3: Componentes de la arquitectura del .Net framework



Fuente: Material Desarrollador Cinco Estrellas de Microsoft

* Material Desarrollador Cinco Estrellas. Microsoft

Todas las partes que componen el marco de trabajo .NET se montan por encima de la familia de sistemas operativos Windows, Incluyendo el entorno de ejecución de aplicaciones (CLR, en verde), el conjunto de bibliotecas de funcionalidad reutilizable (librerías de clases para el marco de trabajo de .NET, en azul) y los compiladores y herramientas de desarrollo para los lenguajes .NET (en rojo). Todos estos componentes se montan por encima de la familia de sistemas operativos Windows.

Dentro del conjunto de librerías de clases para el marco de trabajo de .NET se distinguen 4 sub-componentes principales:

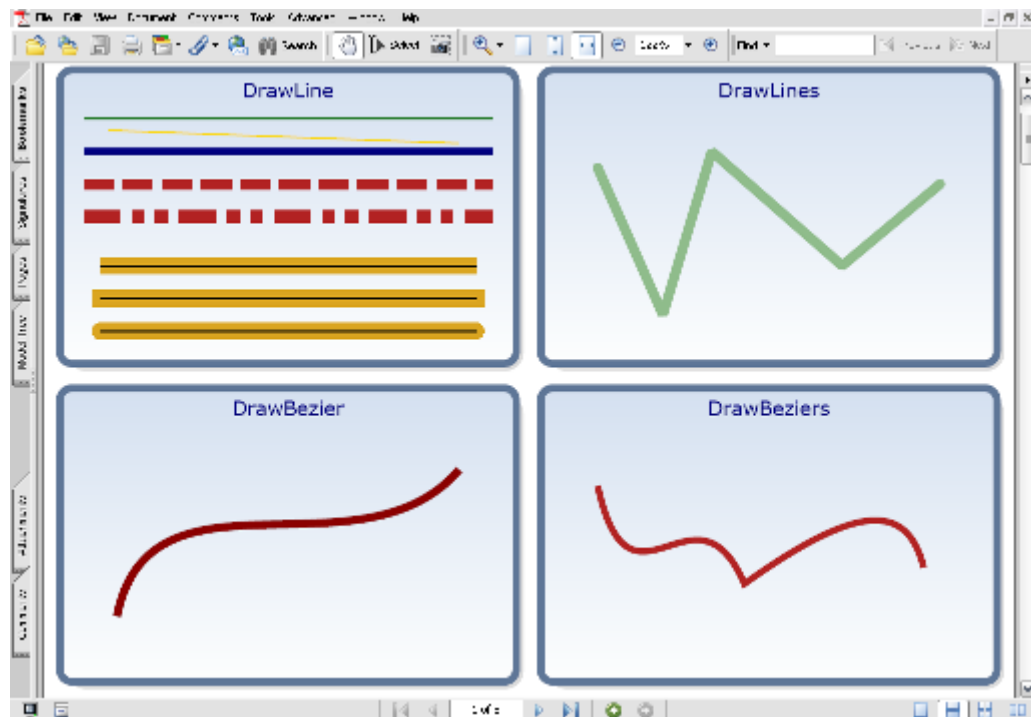
- La Base Class Library (BCL - Biblioteca de Clases Base), que contiene la funcionalidad que usualmente es utilizada para el desarrollo de cualquier tipo de aplicaciones. Algunos ejemplos de la funcionalidad provista por la BCL son el manejo de colecciones, cadenas de texto, entrada/salida, operaciones matemáticas y dibujos 2D.
- ADO.NET, que contiene un conjunto de clases que permiten interactuar con bases de datos relacionales y documentos XML como repositorios de información persistente.
- ASP.NET, que constituye la tecnología dentro del .NET Framework para construir aplicaciones con interfaz de usuario Web (es decir, aplicaciones cuya lógica se encuentra centralizada en uno o varios servidores y que los clientes pueden acceder usando un browser o navegador mediante una serie de protocolos y estándares como HTTP y HTML).
- Windows Forms (o simplemente WinForms), que constituye la tecnología dentro del marco de trabajo de .NET que permite crear aplicaciones con interfaz de usuario basada en formularios y ventanas Windows de funcionalidad rica y que se ejecutan directamente en los clientes.

2.2.3 PDFSharp©

PDFSharp es una librería en la cual es posible crear documentos PDF en .NET, sin importar el lenguaje. Esta biblioteca se encuentra completamente escrita en C# y se basa exclusivamente en caja de seguridad, el código administrado.

Con el fin de agregar texto, gráficos e imágenes existe un conjunto de clases que mantiene un modelo similar a las clases del espacio de nombres System.Drawing de .NET Framework. Con estas clases no sólo es posible crear el contenido de las páginas PDF en una forma fácil así que también pueden ser modificados, fusionados, o dividir con facilidad.

FIGURA 4: Ejemplo PDF creado con la librería PdfSharp



Fuente: Material de ejemplo de la librería PdfSharp

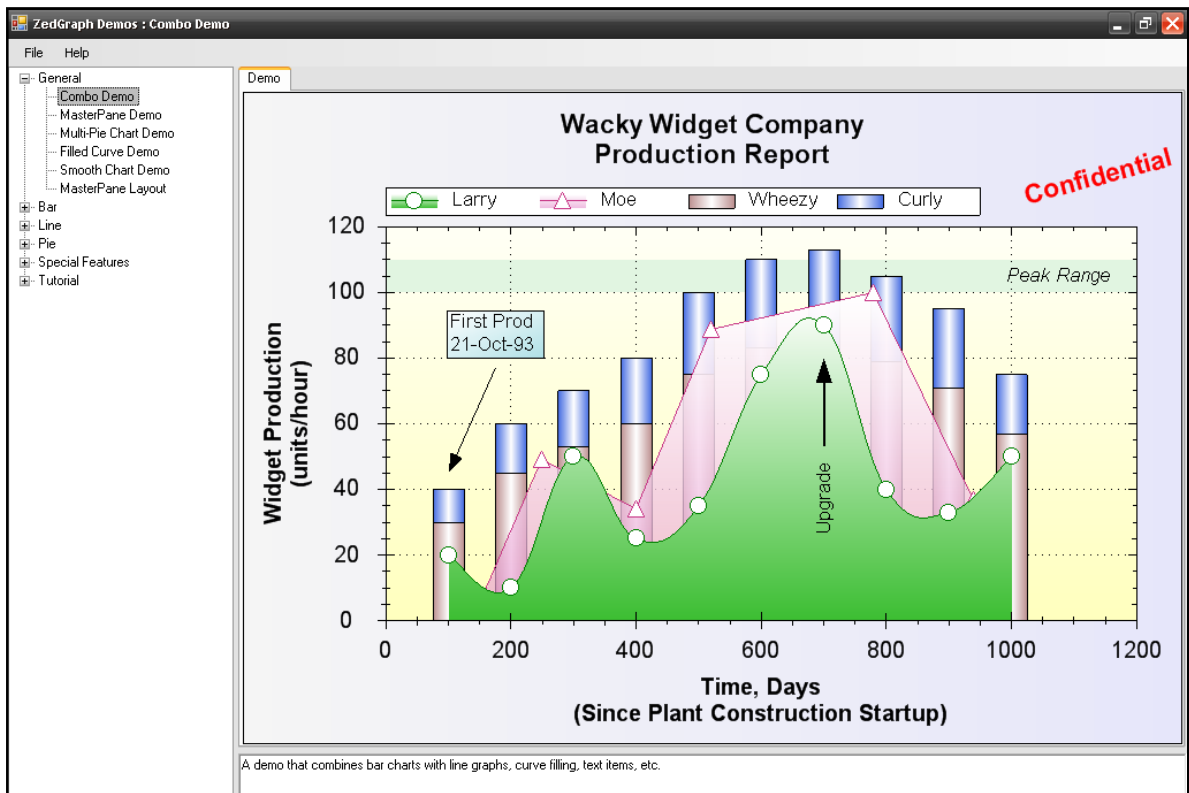
Las principales características de PdfSharp son:

- Crea documentos PDF sobre la marcha.
- Fácil de entender modelo de objetos para componer documentos.
- Modificar, fusionar y dividir archivos PDF existentes
- Imágenes con transparencia (a todo color, mono-cromática, alfa, entre otras propiedades)
- Nuevo diseño a partir de cero y escrito enteramente en C #
- La gráfica de las clases van bien con. Net.
- Es de código abierto (Open Source) o bien que se puede copiar, modificar e integrar el código fuente de PdfSharp en su aplicación sin restricciones.

2.2.4 ZedGraph© .Net Biblioteca para Graficar**

FIGURA 5: ZedGraph_demo.exe

** http://downloads.sourceforge.net/zedgraph/zedgraph_dll_v515.zip?use_mirror=ufpr



Fuente: Material de ejemplo de la librería PdfSharp

ZedGraph es un conjunto de clases, escrito en C #, para crear líneas en 2D, gráficos de barra y tortas e insertar imágenes entre otras utilidades en un control grafico para WinForm muy avanzado que cuenta con la vista de diseño lo que permite arrastrar y soltar dentro del editor de formas de Visual Studio, las clases proveen valores por defecto para todos los atributos del gráfico, y de hecho todos los aspectos de la gráfica de pueden ser modificados con datos arbitrarios.

Las clases suministran un alto grado de flexibilidad y como es de esperar está basada en el conjunto de clases del espacio de nombre de System.Drawing.

Los principales tipo de gráfica que se pueden realizar con la librería *ZedGraph* son:

- Graficas de barras (Barras horizontales, barras verticales, Múltiples barras, porcentajes de Barras).

- Graficas con curvas (Puntos, curvas, área bajo la curva, área entre dos curvas).
- Graficas de tortas (2d y en perspectiva 3d).

La librería Incluyen el código para la elección de la escala apropiada y rangos de tamaños de paso sobre la base de la gama de valores de datos se representan gráficamente.

3 REQUISITOS Y ANALISIS DE SISTEMA

3.1 METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

El desarrollo del software de buena calidad depende en gran medida a su diseño, para ello es importante hacer una correcta y cuidadosa elección de la metodología de perfeccionamiento. Analizando las características del proyecto, el tiempo disponible, plataforma de desarrollo y por último las ventajas y desventajas de las diferentes metodologías de diseño se ha seleccionado el *Modelo de Desarrollo Evolutivo*.

3.1.1 Desarrollo evolutivo

Modelo de desarrollo de software que inicia con la creación de una implementación parcial que cubre los requisitos fundamentales, para ir comprendiendo y estudiando el resto y paulatinamente incorporarlos al sistema, no sin antes ser probados y mostrados al cliente para detectar errores o agregar más, al obtener la realimentación de cada prototipo creado se consigue un avance en el proyecto, el cual finalizará una vez que el prototipo sea lo suficientemente bueno para considerar terminado el sistema.

FIGURA 6: Modelo Creación de Desarrollo Evolutivo.



Fuente: Los Autores

También es de utilidad si se necesita desarrollar con gran velocidad un sistema, ya que la cualidad esencial de un prototipo debe ser la posibilidad de ser construido más rápidamente que la aplicación correspondiente. El inconveniente de este modelo es la imposibilidad de conocer al comienzo del proyecto el tiempo que transcurrirá antes de crear un producto aceptable.

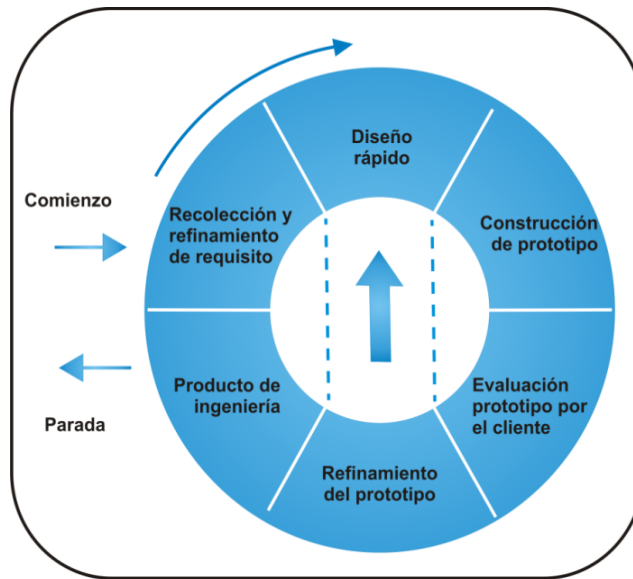
Entre las principales funciones encontramos:

- Construcción de una implementación parcial que cubre los requisitos conocidos.
- Se exponen los malentendidos entre los usuarios del sitio y los desarrolladores.
- Se detectan los servicios que hacen falta.
- Se identifican servicios confusos.
- Reduce el riesgo y aumenta la probabilidad de éxito.

3.1.2 PLAN DE TRABAJO

Aplicando esta metodología en el desarrollo de nuestro proyecto, será necesario llevar a cabo varias modificaciones al diseño inicial conforme avanza el proyecto, comenzando con un modelo relativamente sencillo, implementando los requisitos más importantes, e ir aumentándolo o cambiándolo al paso que se descubran nuevos requisitos hasta que finalmente se convierta en el producto requerido, como muestra la siguiente figura.

FIGURA 7: Modelo de Desarrollo Evolutivo.



Fuente: Los Autores

3.1.3 Recolección Y Refinamiento De Requisitos

En esta primera etapa se analizan los requerimientos básicos del cliente, se define el objetivo de la aplicación y se estudia la factibilidad del proyecto. Considerando esto se elabora una propuesta en la cual se determina los objetivos, y se estiman plazos.

En este proceso el asesor del centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía descubre, revela, articula y comprenden los requisitos que desean esto se realizará mediante técnicas de levantamiento de información como entrevistas, observación y fuentes de información como documentos.

Se efectúa un razonamiento sobre los requisitos obtenidos en la recolección de requisitos, detectando y resolviendo posibles inconsistencias, coordinando los requisitos relacionados entre sí, etc. Se llevará a cabo un registro de los requisitos, validación de los requisitos; se realizará un proceso de confirmación, por parte del asesor que los requisitos especificados son válidos.

3.1.4 Diseño rápido

Se define la aplicación con máximo nivel de detalle posible, se generan modelos del aspecto gráfico, del contenido, y del funcionamiento en base a los modelos matemáticos de los procesos. Estos modelos son prototipos de la aplicación y lo reflejan con gran precisión, se trabaja con prototipo evolucionando hasta que quede satisfecho con todos los aspectos.

3.1.5 Construcción Del Prototipo

Se hace realidad el modelo de diseño, es decir que se elaboran y adaptan los elementos gráficos, multimedia y se codifican los formularios para que la aplicación quede en funcionamiento acorde a modelos matemáticos previamente diseñados.

3.1.6 Evaluación del prototipo por el cliente

En esta etapa hay que realizar pruebas exhaustivas de desempeño con los usuarios, para asegurar el perfecto funcionamiento del mismo, se prueba la integración con los sistemas internos de los modelos matemáticos.

3.1.7 Refinamiento del prototipo

Una vez realizada la evaluación del prototipo se realiza las correcciones al diseño que se tengan que hacer. En esta etapa del desarrollo del proyecto requiere un especial cuidado en la manipulación de documentos, datos etc. desarrollados para distintas versiones de la aplicación. Cada paso debe ser registrado, la documentación debe ser recuperada con facilidad, los cambios deben ser efectuados de una manera controlada. Consideramos fundamental para garantizar la calidad y escalabilidad de la aplicación la elaboración de manuales que soporten en primera instancia las características de administración del mismo. El manual de administrador o escrito corto que de manera didáctica plasma los requerimientos de uso y tratamiento de la aplicación, constituye una guía en el aprovechamiento del mismo.

3.1.8 Producto de ingeniería

Se da a conocer la aplicación final una vez cumpla con todos los requerimientos y funcionalidades para que los usuarios comiencen utilizar la aplicación y se pueda generar información de utilidad para el centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía, y para los ingenios azucareros y todos los usuarios que lo requieran.

3.2 ANÁLISIS DE REQUISITOS

El análisis de requisitos de la simulación se realizó mediante entrevistas con los integrantes del centro de investigación CIDES, y en especial al asesor encargado al proyecto.

Tabla 1: Requisito 01

RQ-01	Aplicación de Escritorio
Descripción	El simulador debe ser una aplicación de fácil ejecución, y de gran facilidad de instalación en la mayor cantidad de computadores posible. Para ello será desarrollado como una aplicación para Microsoft Windows, aprovechando el predominio de los sistemas operativos Windows XP y Windows Vista.

Tabla 2: Requisito 02

RQ-02	Fortaleza Computacional
Descripción	El Simulador debe estar desarrollado sobre una plataforma computacional que soporte una gran cantidad cálculos necesarios para simular todas las etapas de los procesos de producción de

	azúcar blanco.
--	----------------

Tabla 3: Requisito 03

RQ-03	Diseño Sencillo
Descripción	La aplicación debe tener una secuencia lógica de navegación simplificada y sencilla, para ello se apoyara en un diseño visualmente descriptivo que facilite aun mas su entendimiento.

Tabla 4: Requisito 04

RQ-04	Información Descriptiva
Descripción	La Aplicación debe contar con descripción básica del proceso industrial en cada una de las etapas, además de incluir información detallada para consultar.

Tabla 5: Requisito 05

RQ-05	Aplicación MDI (Multiple Documents Interface)
Descripción	El simulador debe funcionar como una interfaz de múltiples ventanas. Con una ventana principal (Para el simulador), que se encarga de albergar en su interior otras ventanas (Para cada una de las etapas del proceso).

Tabla 6: Requisito 06

RQ-06	Creación de Imágenes Dentro de los Contenidos Publicados
Descripción	El simulador deberá permitir crear imágenes para hacer más comprensible los resultados, en representaciones con formas de

	graficas de barras y/o graficas de torta según más lo convengan.
--	--

Tabla 7: Requisito 07

RQ-07	Crear y Consultar Reportes
Descripción	El simulador generara reportes con el fin de publicar los resultados en documentos de texto comunes ya que estos se pueden imprimir y transportar más fácilmente.

Tabla 8: Requisito 08

RQ-08	Simulación de Estado Estable
Descripción	Debe funcionar y realizar su ejecución en base a los modelos matemáticos en estado estable de las ecuaciones y balances de masa y energía para cada una de las etapas de los procesos de producción.

3.3 REQUISITOS FUNCIONALES DEL SISTEMA

3.3.1 Diagramas de casos de usos

FIGURA 8: Diagrama de casos de usos de actores del sistema.

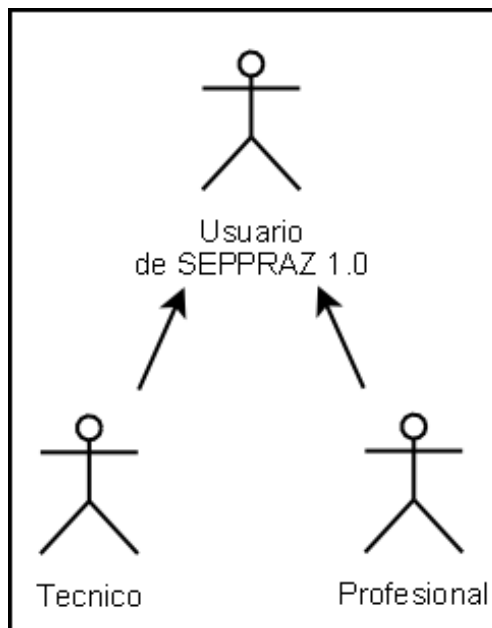


FIGURA 9: Diagramas De Casos De Uso Interfaz grafica de usuario

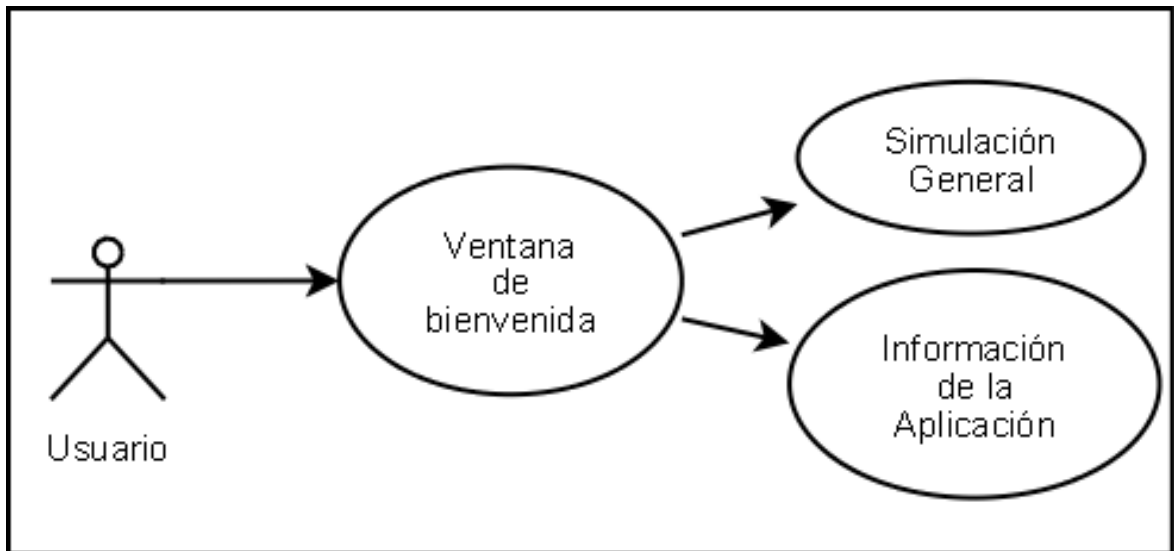


FIGURA 10: Diagrama de casos de usos de Simulación por Etapas

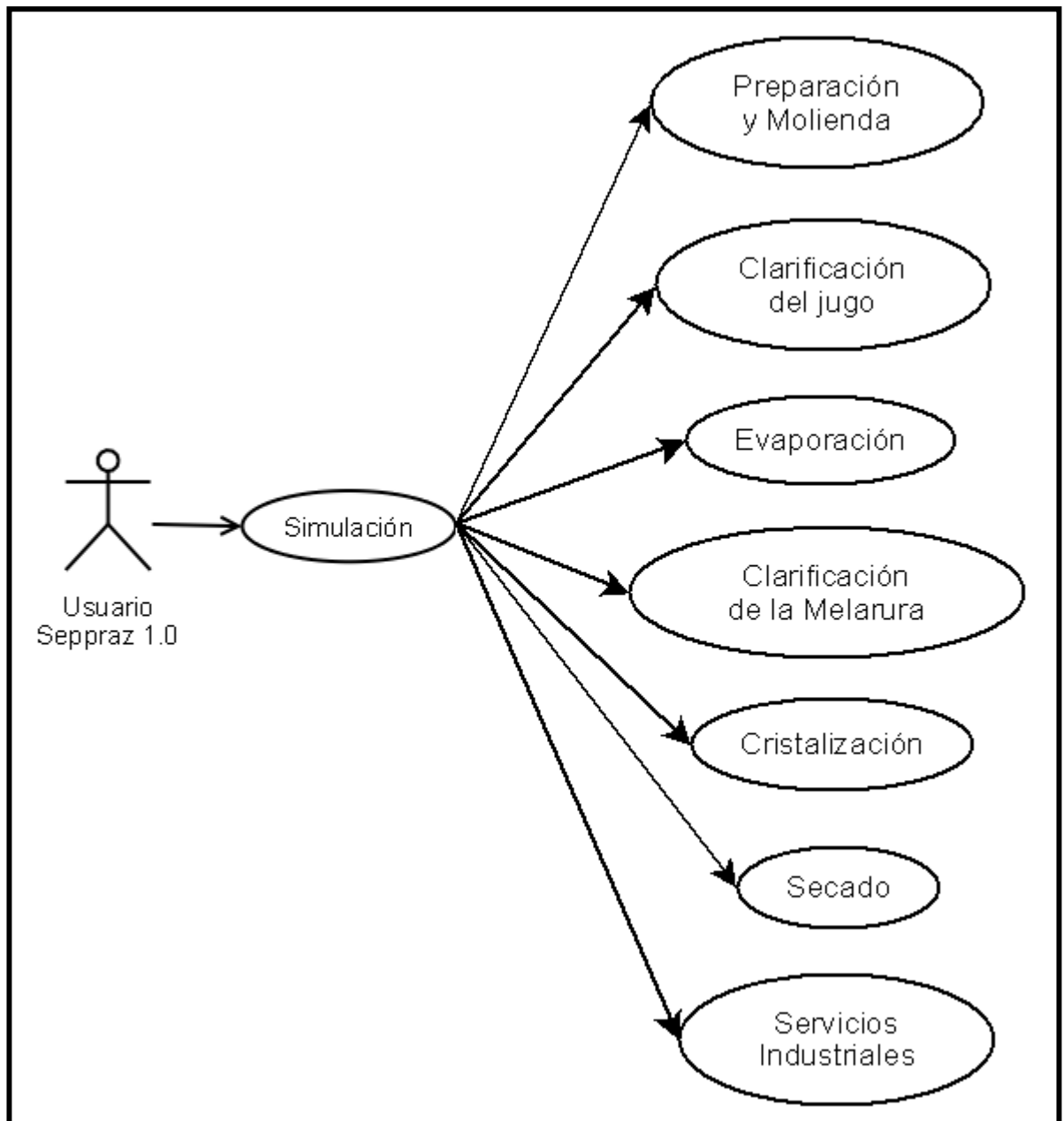
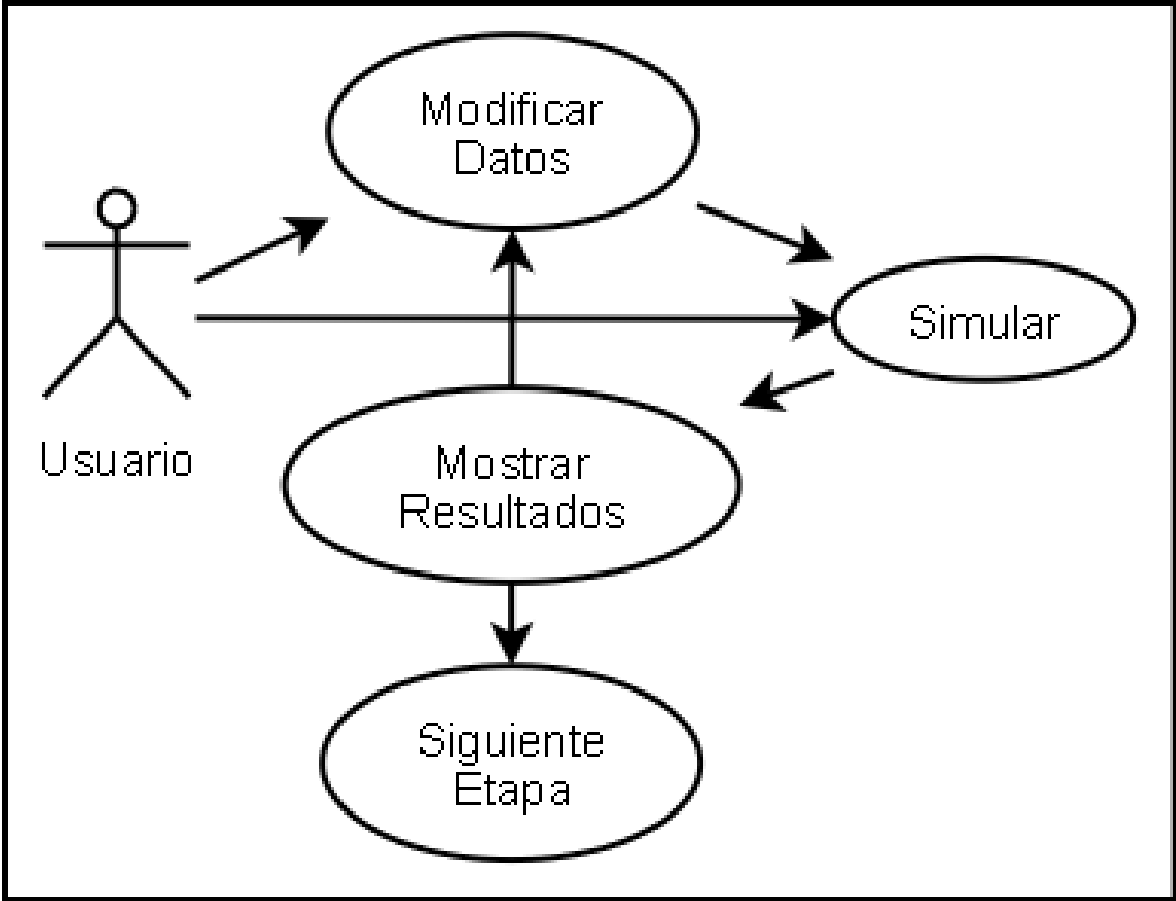
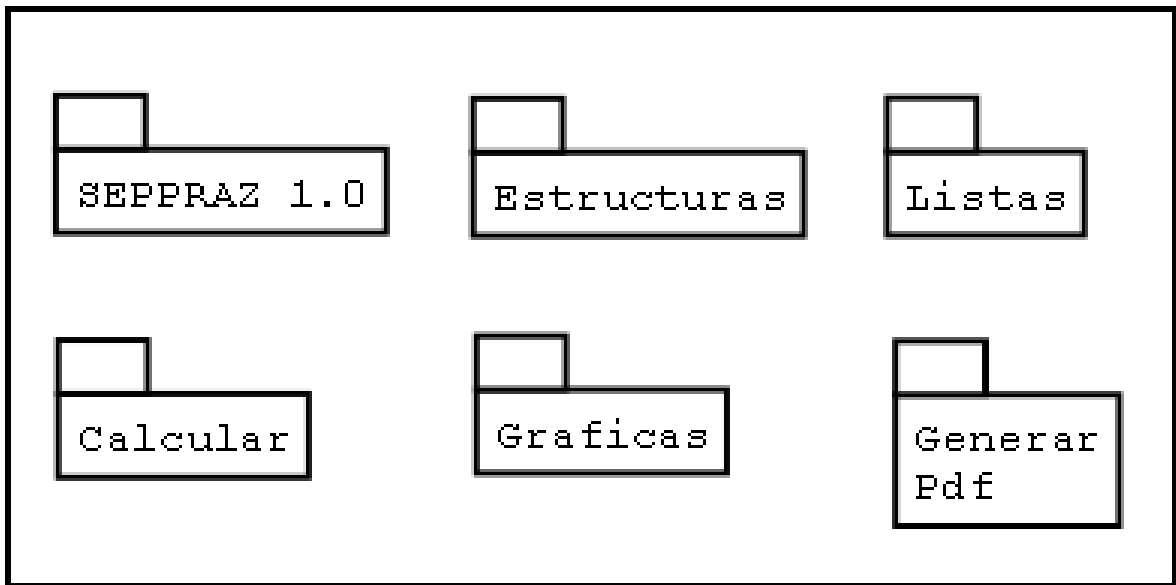


FIGURA 11: Diagrama de casos de usos para las etapas de la simulación general



3.3.2 Diagramas de Subsistemas

FIGURA 12: Diagrama de Subsistemas



3.3.3 Diagramas de estado

FIGURA 13: Diagrama de Estados de las Etapas

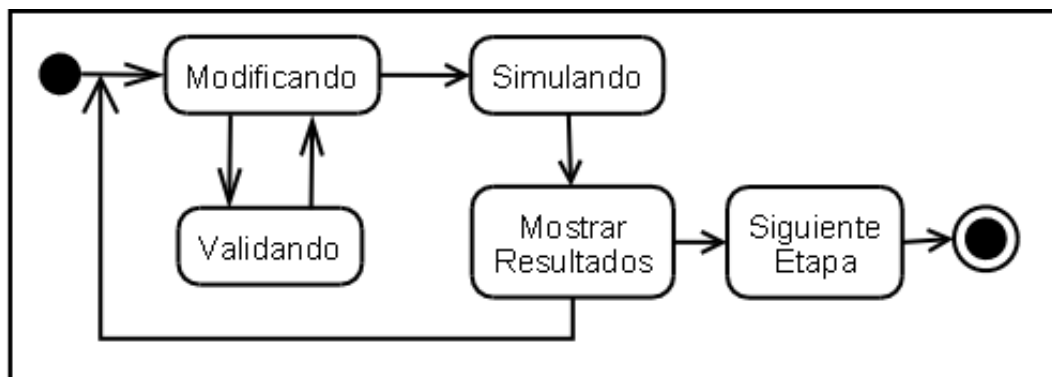
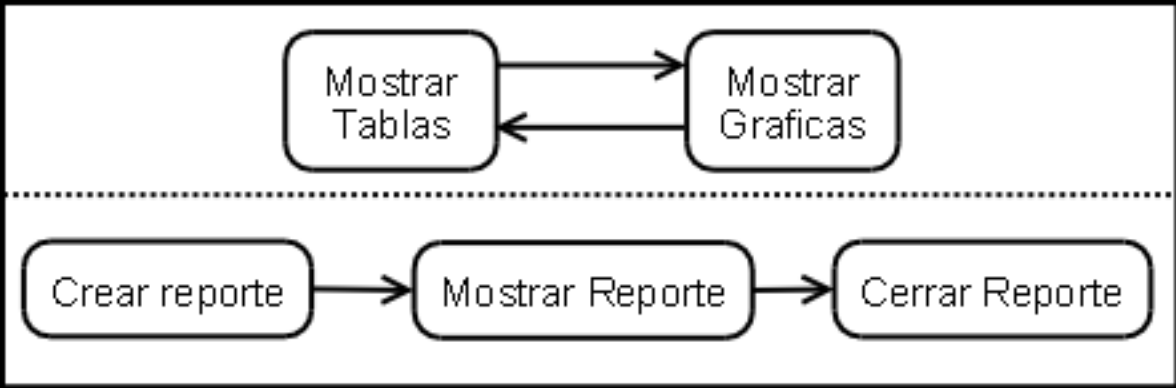
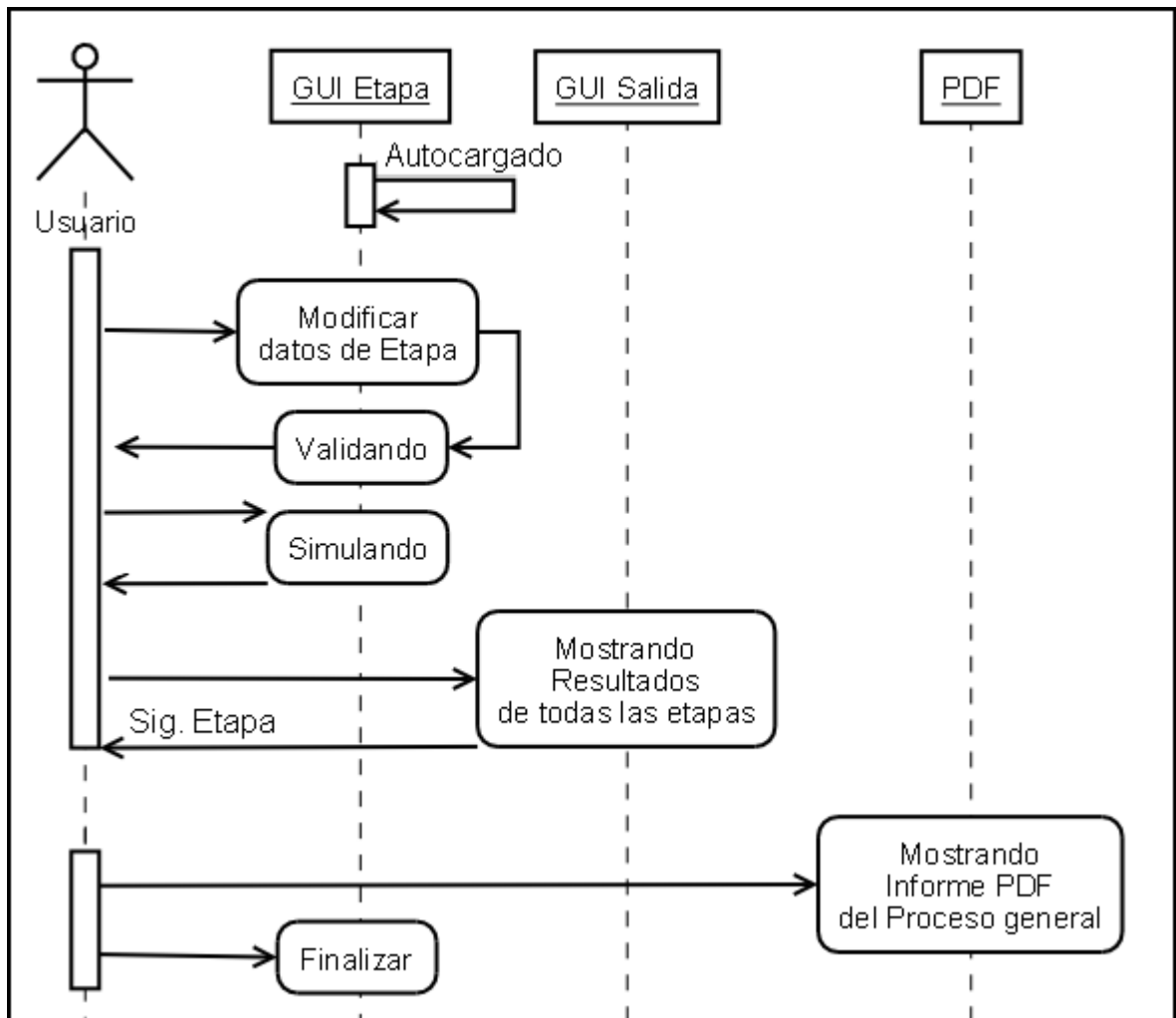


FIGURA 14: Diagrama de Estados – Sub-estado Mostrar Resultados



3.3.4 Diagrama de Secuencias

FIGURA 15: Diagrama de Secuencias – Proceso de Simulación de las etapas



3.3.5 Definición de casos de usos.

Tabla 9: Definición de Actores

Perfiles de usuarios	Descripción	Función que realiza
Técnicos	Estudiantes, técnicos, Practicantes y operarios de plantas de procesamiento de azúcar a partir de caña de azúcar.	Estudiar, simular y comprender el sistemas de producción y sus diferentes componentes
Profesionales	Administradores, Ingenieros y/o Analistas.	Formular, modificar y analizar las políticas de producción que mejoran la eficiencia de acuerdo a los medios variantes de un ingenio.

3.3.6 Definición de casos de usos

Tabla 10: Caso de uso – Bienvenida

Caso de uso	Bienvenida
Precondición	Ejecutar el simulador SEPPRAZ 1.0.
Secuencia	El usuario observara las características del simulador.
Pos condición	Se inicia un menú en el cual se debe hacer la selección de la etapa del proceso que se desee simular.

Tabla 11: Caso de uso – Simulación

Caso de uso	Simulación
Precondición	Iniciar la ejecución del simulador SEPPRAZ 1.0.
Secuencia	Se muestran las ventanas de descripción general y la ventana de selección de etapas del proceso.
	Se selecciona la etapa del proceso que se desea simular.
Pos condición	Si se oprime en una de las etapas se oculta la ventana de selección de de etapas y se da inicio a la simulación de esta etapa.

Tabla 12: Caso de uso - Ayuda

Caso de uso	Ayuda
Precondición	Seleccionar esta opción desde el formulario MDI.
Secuencia	Se despliega el archivo de ayuda del simulador con la información acerca del simulador, explicación de las etapas de proceso y por ultimo glosario de términos empleados.

Tabla 13: Caso de uso – Etapas del Proceso

Caso de uso	Etapas del Proceso
Precondición	Iniciar una de las etapas e iniciar la ejecución del simulador.
Secuencia	Se modifican los datos de entrada.
	Inicia el proceso de simulación.
	Se muestran los resultados de la simulación.
	Se pasa a una siguiente etapa o se puede regresar a modificar los datos de la etapa para simular de nuevo.
Excepciones	La etapa de servicios industriales no tiene una siguiente etapa.

Tabla 14: Caso de uso – Modificar Datos

Caso de uso	Modificar Datos
Precondición	Iniciar cualquiera de las etapas del proceso.
Secuencia	El usuario navegara por las pestañas que separan los datos de entrada del simulador.
	El usuario modificar las características que requiera para

	efectuar la simulación.
Pos condición	Dar inicio a la ejecución del simulador.
Excepción	No se podrá dar inicio a la ejecución del simulador si los datos ingresados no son validos y se dará una alerta de aviso.

Tabla 15: Caso de uso – Iniciar la Simulación

Caso de uso	Iniciar Simulación
Precondición	Oprimir uno de los botones que de inicio a la ejecución de una de las etapas del proceso.
Secuencia	Crear una estructura de la etapa.
	Efectuar los cálculos necesarios para simular.
	Se crean las listas y se llenan con los resultados de la simulación.
	Se crean las graficas con los resultados de la simulación.
Pos condición	Se muestran los resultados en tablas y en graficas.

Tabla 16: Caso de uso – Mostrar resultados

Caso de uso	Mostrar resultados
Precondición	Tener creadas las listas con los resultados de la simulación.
Secuencia	Se separan en pestañas las distintas tabas con los resultados y las graficas que se hayan creado para la etapa
	Si se oprime el botón de generar reporte, se creara y se mostrar el reporte con los resultados de la etapa correspondiente.

Pos condición	Se puede regresar a modificar los datos de la etapa o pasar a la siguiente etapa del proceso.
Excepción	La etapa de servicios industriales no posee graficas (No se consideraron necesarias).

4 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La aplicación fue creada empleando la metodología del prototipado evolutiva, dicha metodología se basa en el desarrollo de varios prototipos, buscando en cada prototipo mejorar la mayor cantidad de aspectos, pasando por cada una de las etapas del modelamiento que den como resultado una aplicación rica en diseño y funcionalidad que el usuario desea.

4.1 PRIMER PROTOTIPO

El primer prototipo inicia poco tiempo después del análisis de requisitos y socialización de los modelos matemáticos, se procede a crear el diseño del modelo del sistema en general.

Una vez estudiado el modelo matemático, en general se observaron muchas retroalimentaciones en el flujo de la información entre los procesos, es decir que a excepción de la primera etapa (preparación y molienda), las demás etapas tienen flujos de información que requieren datos de otras etapas anteriores y en algunos casos, también requieren flujos de información de las etapas posteriores y no permiten que las etapas se simule aisladamente. Para ello se preparo una simulación general empleando datos reportados por un caso de estudio, dichos datos conforman un conjunto de datos de prueba que serán “auto-cargados” por defecto en las diferentes etapas del proceso al inicio de la ejecución de la simulación.

Tabla 17: Flujo de Datos Necesarios para Clarificación de Jugo

Etapas	Datos necesarios para Clarificación de Jugo
Preparación y	Tonelada de caña por Hora, Jugo Diluido, Flujo de

Molienda	JD.
Evaporación	Temperatura de Vapor Vivo del 1 al 5, Temperatura de escape
Clarificación de la Meladura	Espuma, Brix de la Espuma, Humedad de la Espuma, Pureza de la Espuma, Insolubles de la Espuma.

Tabla 18: Flujo de Datos Necesarios para Evaporación

Etapas	Datos necesarios para Evaporación
Clarificación de Jugo	Temperatura de salida, Jugo Claro, Brix del JC.
Cristalización	Vapor Vivo del 1 al 5
Secado	Vvsec1...5

Tabla 19: Flujo de Datos Necesarios para Clarificación de la Meladura

Etapas	Datos necesarios para Clarificación de la Meladura
Preparación y Molienda	Tonelada de caña por Hora.
Clarificación de Jugo	Insolubles del JC
Evaporación	Brix de Meladura, Jarabe, TVV1...5, Temperatura de escape
Servicios Industriales	T Sal Válvula 2

Tabla 20: Flujo de Datos Necesarios para Cristalización

Etapas	Datos necesarios para Cristalización
Evaporación	TVV1...5, Temperatura de escape
Clarificación de la	Flujo de Mecla, Sol Mecla, In Mecla, Agua Mecla,

Meladura	Pol Mecla, Brix Mecla.
-----------------	------------------------

Tabla 21: Flujo de Datos Necesarios para Secado

Etapas	Datos necesarios para Secado
Evaporación	TVV1...5, Temperatura de escape
Cristalización	Azúcar Crudo, Sol Azúcar, Pol Azúcar, Pureza del Azúcar.
Servicios Industriales	T Sal Válvula 2

Tabla 22: Flujo de Datos Necesario para Servicios Industriales

Etapas	Datos necesarios para Servicios Industriales
Preparación y Molienda	Toneladas de caña por Hora, Vapor Molino, Pcs, Humedad, Cenizas.
Clarificación de Jugo	Escape a Calentadores
Evaporación	Vapor entrada escape de los evaporadores, escape de otros
Cristalización	Escape de los efectos
Secado	Vvsec1...5, Vrassec

Realizado el estudio de los datos se procede a crear el diseño de la aplicación con las herramientas computacional de .NET como son:

4.1.1 Estructuras

El paradigma orientado a objetos se emplea para hacer un modelo de los sistemas de producción y luego se modelan objetos para cada una de las etapas del

proceso y se crean las estructuras individuales con la información requerida para cada una de ellas.

4.1.2 Controles

Visual Studio 2008 permite la creación de sus propios controles, se emplean en el diseño de los formularios para agrupar visualmente un conjuntos de datos comunes en la estructuras de las etapas, de esta manera se tiene una división de datos por etapas y por los controles de cada etapa, lo cual es muy útil en este caso porque las estructuras solas tiene muchos datos y de esta manera se puede determinar variables de manera jerárquica. Los controles también son utilizados para hacer la distribución y disposición de la información en los formularios.

4.1.3 Formularios

Una vez terminada el diseño de las estructuras y controles se procede a diseñar una interfaz grafica de usuario (GUI por sus siglas en ingles) provisional para ello se crean los formularios de la aplicación a continuación se muestran organizados según el tipo.

Tabla 23: Formularios

TIPO	Nombre	Descripción
Generales	Bienvenida	Se muestran algunos gráficos que indican los procesos del simulador e información general de la aplicación.
	Principal (Formulario MDI)	Es el formulario principal de la aplicación contiene las funciones del simulador general y por etapas, y es el contenedor de todas las ventadas de simulación.

	Acerca de...	Se suministra detalles técnicos del simulador.
--	--------------	--

Tabla 24: Controles

TIPO	Nombre	Controles
Entrada de Datos	Preparación y Molienda	Preparación de la caña, picadoras y los molinos.
	Clarificación de Jugo	Jugo, Soluciones, Mezclador y por último los intercambiadores de calor.
	Evaporación	Área de Transferencia, Vapores y Condensador.
	Clarificación de la Meladura	Floculante, meladura y calentadores.
	Cristalización	Condensadores, diseño de las Masas, Mieles, Masas y Semillas.
	Secado	Entrada de Aire Vapor.
	Servicios Industriales	Vapores y calentadores.

En base al diseño realizado de formularios se procede a diseñar la aplicación que funcione de acuerdo al modelo matemático para cada una de las etapas del proceso.

4.1.4 Generic List

Fueron creados varios listados <Generic list> que hacen el papel de controles de respuesta, las listas sirven para hacer las tablas de respuestas, y en donde se alojan los conjuntos de datos obtenidas por los cálculos, se genera un <Generic list> para cada tabla de salida. Estas listas también son empleadas como datos de entrada para etapas subsecuentes para el proceso general y para generar las graficas y los reportes en formato PDF.

4.1.5 Formularios de Resultados

Se creó un formulario de resultado en respuesta a cada uno de los formularios de entrada de datos, en estos formularios se encuentran las tablas con los resultados de la simulación después de ser calculados en algunas etapas es igual el numero de controles y el de tablas de resultados pero en general estas son diferentes. También se encuentran las graficas de resultados y desde este formulario se permite mostrar los resultados en formato PDF, la navegación permite regresar al formulario de entrada de datos correspondiente para volver a modificar los datos y simular otra vez si se desea.

Tabla 25: Formularios de Resultados

Nombre	Tablas	Graficas
Preparación y Molienda	Molinos, jugo diluido, picadoras y bagazo	Barras (extracción % x molino y extracción acumulada) Torta (% de Extracción por molino)
Clarificación de Jugo	Jugos, Lodos, soluciones y calentamiento	Barras (Jugos Vs Sólidos Insolubles)
Evaporación	Evaporadores	Barras(% Brix x Evaporadores)
Clarificación de la Meladura	Meladuras	Barras(Sólidos Insolubles en las meladuras)
Cristalización	Masas, Miel y Volumen.	Barras(Masas en cantidades)
Secado	Aire y Azúcar	
Servicios Industriales	Vapor (Generales y Perdidas) y Condensados	

4.1.6 Evaluación del prototipo por el cliente

FIGURA 16: Diseño Formulario de Bienvenida para el primer prototipo



Fuente: Los Autores

FIGURA 17: Diseño del Formulario Principal para el Primer prototipo

Principal - [Molienda 1]

Archivo Etapas Ventanas Ayuda

Preparación de la Caña Picadoras Molinos

TCH 38

Brix 15.2

Pol 13.5

Fibra % Caña 15.9

Tiempo 5

Materia 2

OCULTAR BOTONES

Molienda Clarificación del Jugo Evaporación Clarificación de la Meladura Cristalización Secado

Fuente: Los Autores

Una vez realizada la aplicación por parte de los coordinadores del grupo de investigación CIDES se hacen las recomendaciones de las cuales se describirán:

- Recomendaciones de diseño:

- Falta que cada etapa tenga su descripción al iniciarla.
- Los datos de de todas las etapas se deben cambiar las siglas de las variables por su nombre completo.
- Recomendaciones de funcionalidad
 - Eliminar tres controles que en realidad no son necesarios porque los datos no son requeridos o se tienen que calcular.
 - Modificar seis controles por que contienen datos que se tiene que calcular o se pueden tomar por defecto.
 - Modificar las listas y tablas de resultados que contienen datos incensarios o que requieren más datos.

4.2 SEGUNDO PROTOTIPO

Una vez obtenidas las recomendaciones del análisis por parte de los clientes, se procede a corregir cada una de ellas en la aplicación, para dar comienzo a un nuevo prototipo.

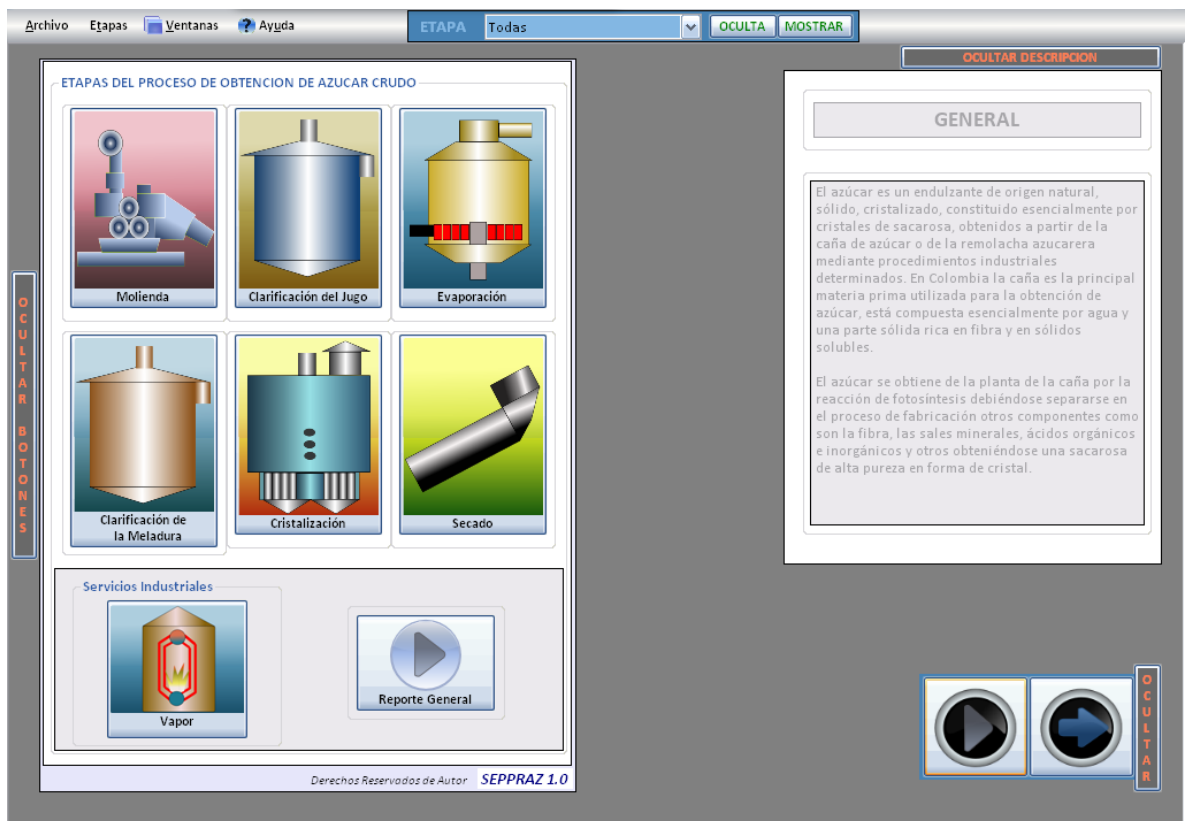
Para el diseño del nuevo prototipo se realizaron las siguientes tareas:

Tabla 26: Segundo Prototipo

ETAPA	CAMBIOS PRINCIPALES
PREPARACIÓN Y MOLIENDA	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de un nuevo control de datos de molienda.
CLARIFICACIÓN DE JUGO	<ul style="list-style-type: none"> ● Eliminación del control de jugo claro.

<p style="text-align: center;">EVAPORACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Creación del control de Gases de salida del último efecto, y del control de No de Efectos de 1 a 5 • Ejecución dinámica para efectos. • Ajuste al nuevo diseño funcional para las nuevas listas de salida, tablas de resultados y graficas.
<p style="text-align: center;">CAMBIOS GENERALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Re-organización de los controles para optimizar el diseño. • Retroceso para volver a simular en cada una de las etapas. • Ajustes en las listas y tablas de resultados de acuerdo a los cambios principales de las etapas de preparación y molienda, clarificación de jugo y evaporación.

FIGURA 18: Diseño del Formulario Principal para el Segundo Prototipo



Fuente: Los Autores

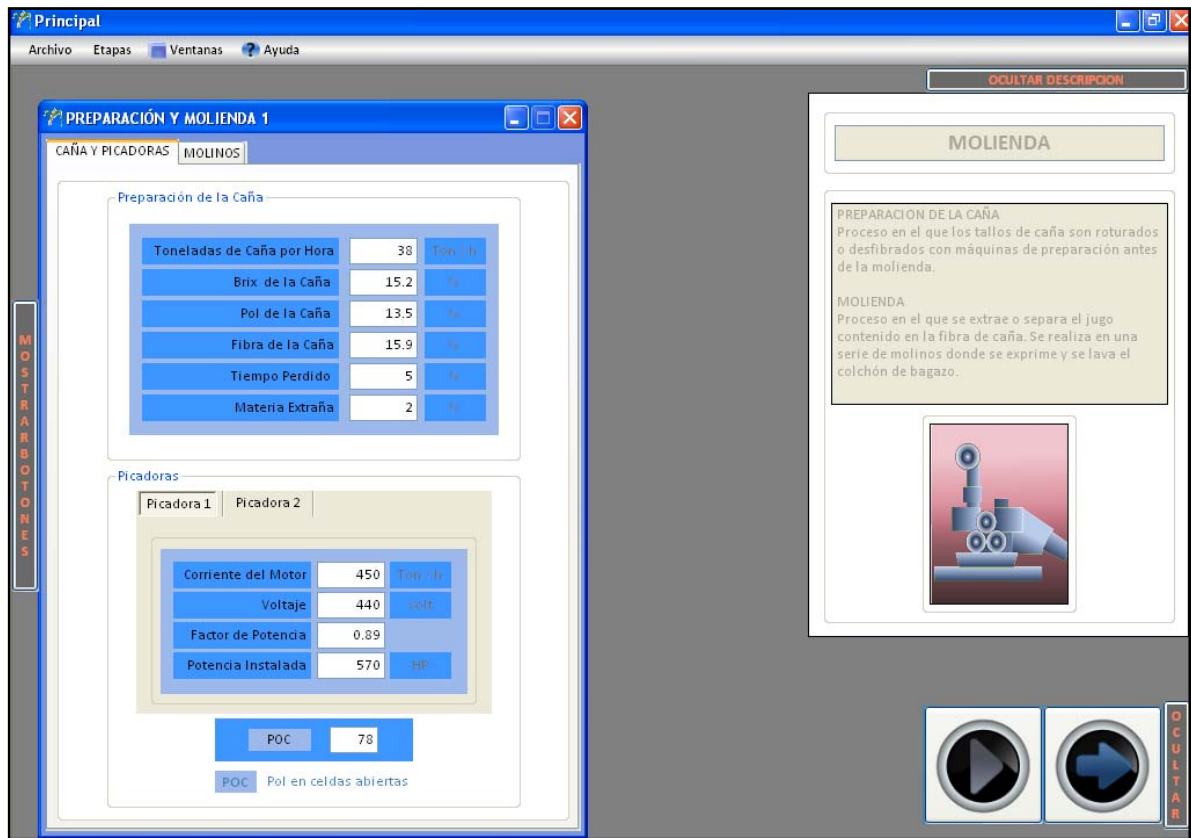
4.2.1 Versión 2.0

En el prototipo anterior se logra realizar la simulación de todas las etapas contempladas en el proyecto, pero estas estaban limitadas a utilizar los datos del auto cargado siempre para realizar la simulación. En esta versión se modifica esto para que la aplicación sea progresiva en su ejecución y se puedan realizar simulaciones sucesivas de las etapas y lograr darle dinamismo al simulador.

Los cambios de ejecución del simulador son:

- Primera iteración: ejecutara la simulación de todas las etapas con los datos de prueba por defecto del auto-cargado (esto se realiza, siempre que se ingrese o se elija reiniciar los valores por defecto del auto-cargado).
- Segunda iteración: efectúa la simulación de la etapa requerida, tomando los datos que requiera de otras etapas, de los resultados del ciclo anterior de la simulación.
- Tercera iteración: se guardan los cambios de los datos del auto-cargado para que sean empleados si se quiere ejecutar otra etapa (para una etapa diferente o para re-simular la misma etapa), en dicho caso se regresaría al segundo ciclo. Esto le permite al simulador ser evolutivo en las múltiples simulaciones que se deseen realizar sucesivamente, tratando de emular el sistema de producción continúa que se emplean en el proceso real.

FIGURA 19: Diseño del Formulario de la Etapa de Preparación y Molienda para el Segundo Prototipo



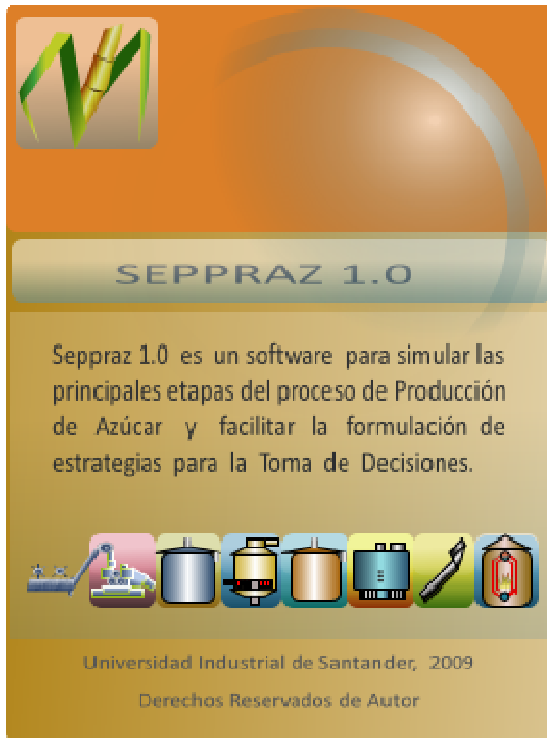
Fuente: Los Autores

Eventualmente este prototipo es evaluado con la intención verificar el flujo de datos para auto-cargar los resultados, su correcto funcionamiento de acuerdo a las especificaciones. También se realizan pruebas en diferentes equipos de cómputo para verificar su portabilidad.

4.3 TERCER PROTOTIPO

En el tercer prototipo se realizan las correcciones a las pruebas funcionales. Y una vez que se ha comprobado el correcto funcionamiento de cada una de las etapas individuales de acuerdo a los modelos físicos y matemáticos, ya se han probado la eficiencia de las estructuras y controles de datos, y el diseño de los formularios y controles son los adecuados para el óptimo funcionamiento de la aplicación.

FIGURA 20: Diseño del Formulario de Bienvenida Para el tercer Prototipo



Fuente: Los Autores

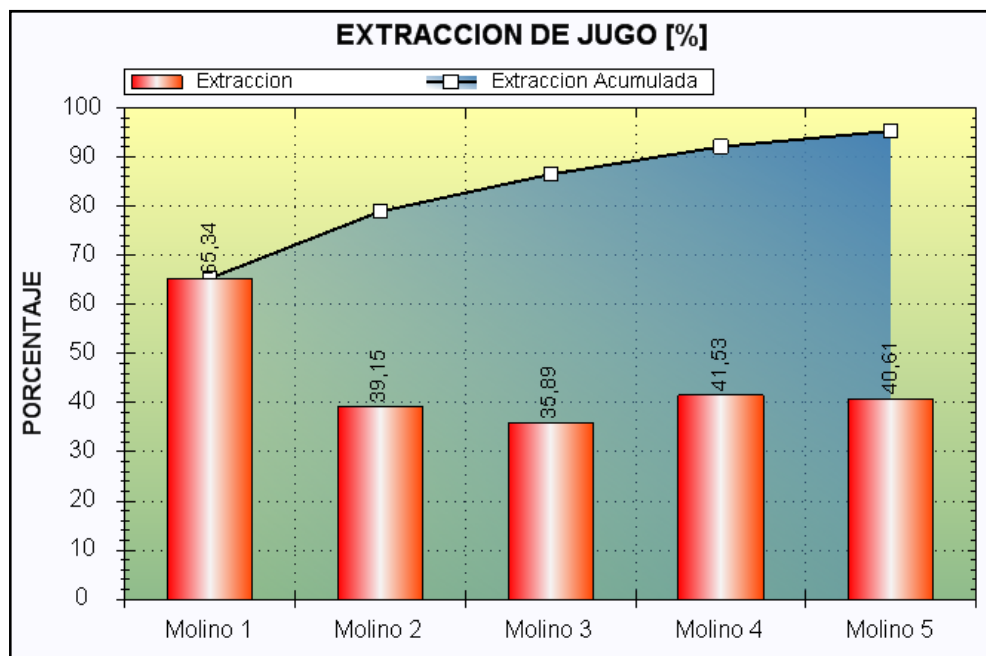
El tercer prototipo tiene tres grandes avances que son:

4.3.1 Versión 3.0

Se agregaron los formularios para contener las graficas de los resultados para cada una de las etapas y para esto se agrega la librería de los controles *ZedGraph* los cuales incluyen grandes funcionalidades para graficas para hace fácil la implementación de dicha librería se crea la clase *Graficas* el cual contiene los métodos con las instrucciones necesarias para hacer las graficas tanto de barras como las graficas de torta.

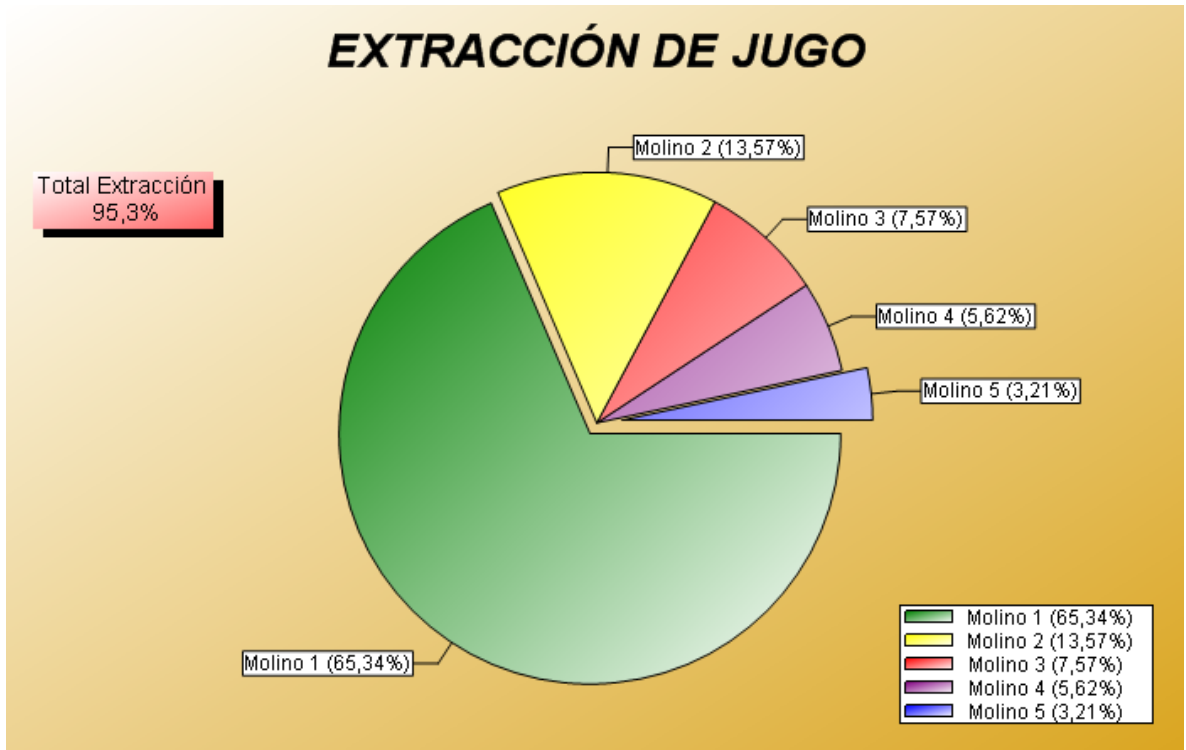
- Grafica de barras y torta para la etapa de preparación y molienda.
- Grafica de múltiples barras para la etapa de clarificación de jugo y clarificación de la meladura.
- Grafica de barras para la etapa.

FIGURA 21: Grafica de Barras de Extracción de jugo para la etapa de Preparación y Molienda.



Fuente: Los Autores

FIGURA 22: Grafica de Torta de la Etapa de Preparación y Molienda



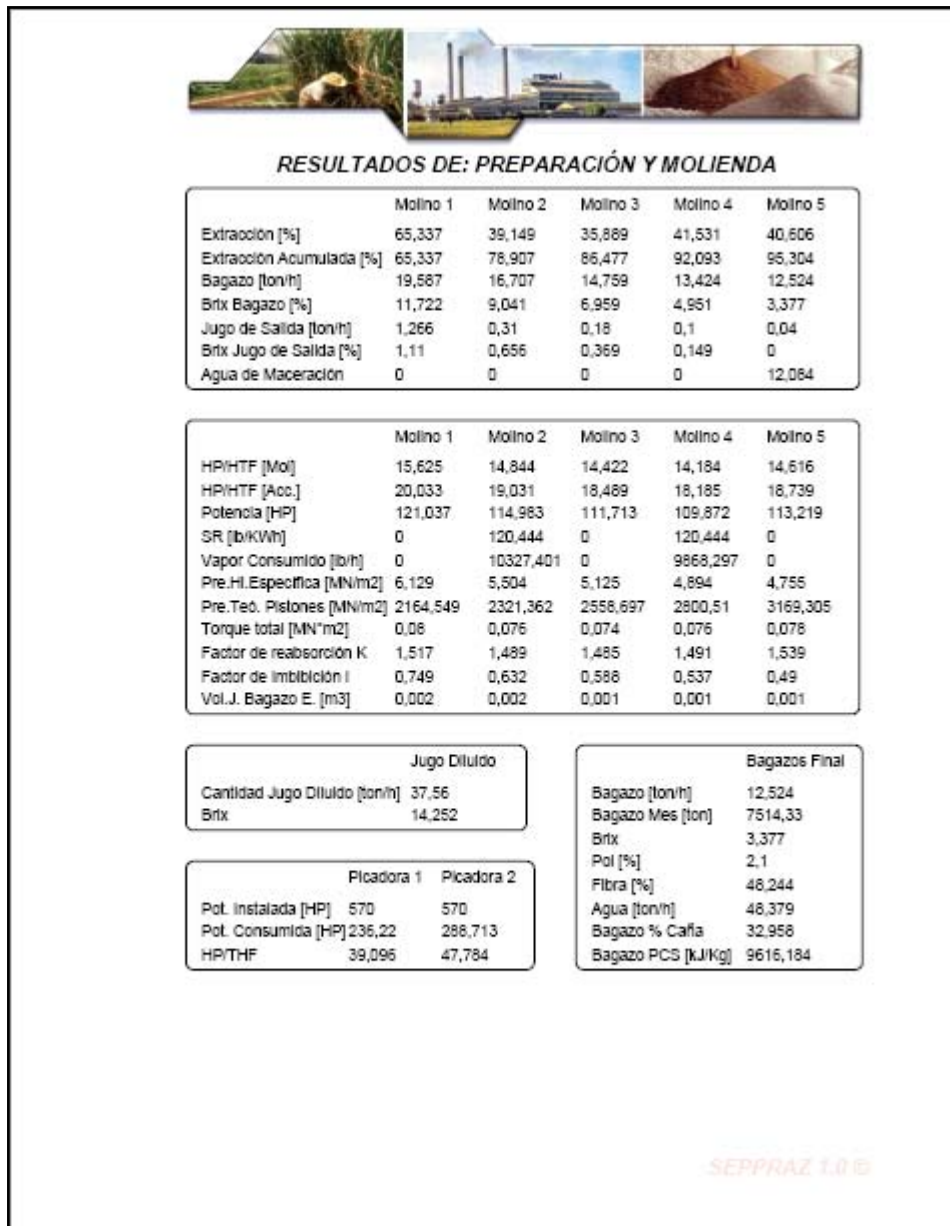
Fuente: Los Autores

4.3.2 Versión 3.1

En este prototipo se implementó el generador de reporte en formato PDF, para ello se incluye en el proyecto la librería *PdfSharp* luego se hizo un diseño provisional del cuerpo del documento según las normas ICONTEC, en este se incluyen un encabezado con el nombre de la etapa, fecha y un pie de página con el nombre del simulador y la versión, también se incluyen los datos de los resultados de cada una de las etapas por separado en tablas e incluye las gráficas más relevantes.

Con el fin de poder crear el documento PDF se creó la librería de clases *HacerPdf* especialmente para crear el cuerpo y almacenar los resultados, esta contiene los métodos con las instrucciones necesarias para exportar los resultados.

FIGURA 23: Diseño de la Plantilla para los reportes Pdf



Fuente: Los Autores

4.3.3 Versión 3.3

El propósito de esta versión es mejorar los procesos para no sobrecargar el simulador de forma innecesaria, para ello se efectúa un análisis de los resultados, empleando la variación de uno o más de los datos de entrada de la etapa del proceso que se esté simulando (No aplica a todas las etapas).

Describiremos los análisis que se consideraron necesarios realizar:

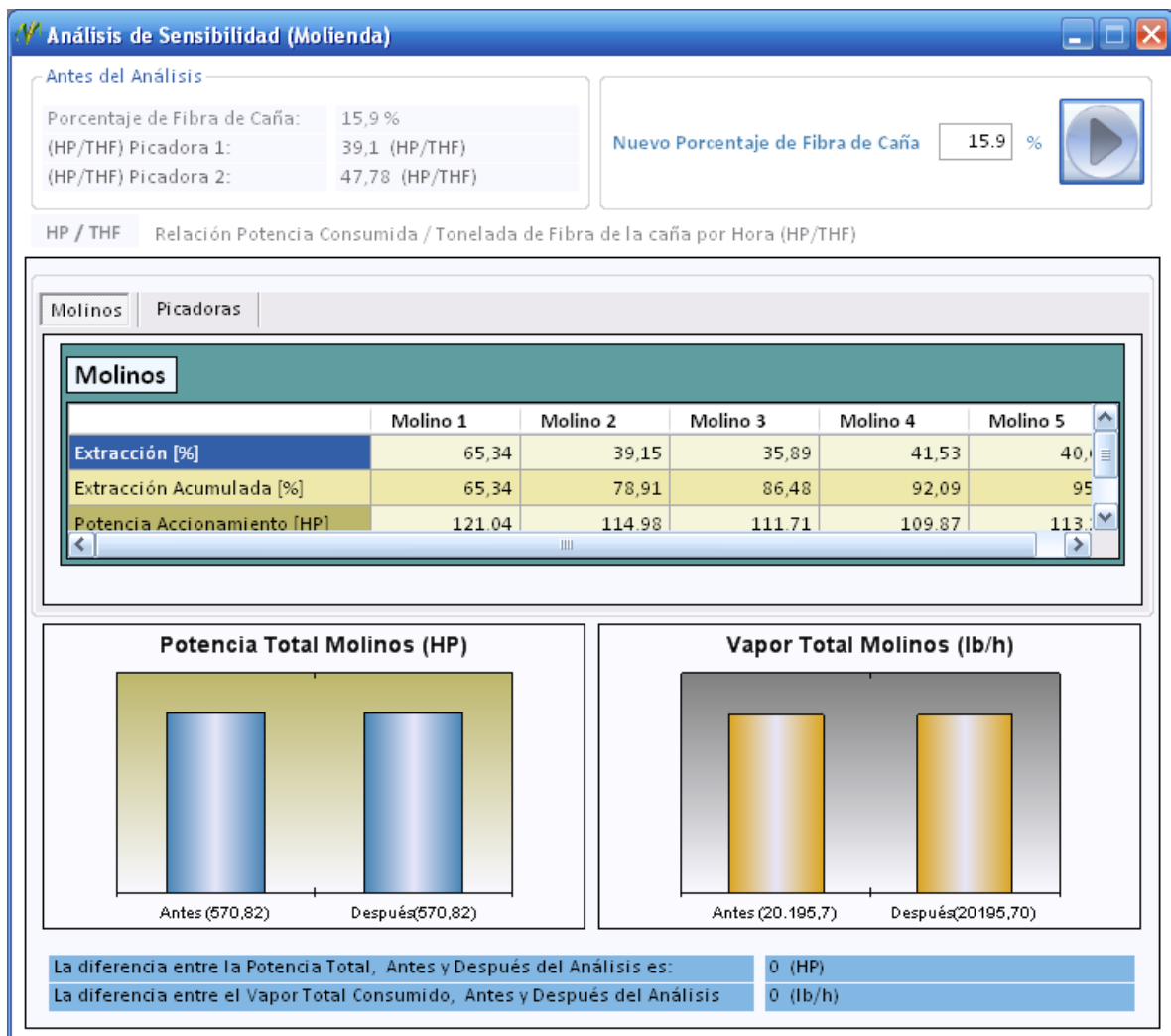
Tabla 27: Análisis de Sensibilidad

Etapa	Datos de entrada	Elemento(s) analizados	Descripción
Preparación y Molienda	Porcentaje de fibra de la Caña.	Potencia consumida en las picadoras y los molinos, y consumo de vapor.	Se analiza el cambio de la Potencia Consumida para las picadoras y los molinos, y el consumo de vapor y el porcentaje de extracción.
Evaporación	No de Efectos y características principales.	Consumo de Vapor.	Se evalúa el consumo de vapor variando el número de los efectos o las características de este.
Cristalización	Vapores calefactores de las Masa de A, B y C, Cristales Primitivo y desarrollado.	Vapor total en tachos.	Se evalúa el consumo del Vapor calefactor en cada tacho al variar los diferentes tipos de vapores.

Secado	Vapor Calefactor y Humedad.	Calor requerido y el consumo de vapor.	Se busca analizar el calor requerido para el secado si se cambian las condiciones de humedad del aire, y como cambiara el consumo de vapor al cambiar el vapor calefactor.
---------------	-----------------------------	--	--

Para concluir el desarrollo del simulador se realizaron diferentes pruebas de rendimientos en distintos equipos de cómputo para determinar el óptimo rendimiento de la aplicación.

FIGURA 24: Análisis de Sensibilidad



Fuente: Los Autores

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

SEPPRAZ 1.0 ayudará al mejor conocimiento del proceso y que el personal se familiarice mejor con éste y que la rotación de personal en los puestos pueda ser más efectiva. Facilitara tomar en cuenta las modificaciones en el equipo que sea necesario para poder elevar la tasa de producción, tomando en principal atención las capacidades de las máquinas y del personal con que cuentan.

Gracias a esta aplicación se puede observar, estudiar y analizar con detenimiento las etapas del proceso de producción de azúcar blanco para así identificar que dentro del proceso de producción del azúcar intervienen muchos factores que afectan las etapas, factores que en algún caso se pueden controlar y que se encuentran documentados (energía, medio ambiente, propiedades de la caña y demás) lo cual fortalece a la calidad del proceso, al estudio de los métodos y por último a mantener un buen control.

Se comprueba la gran utilidad de hacer una buena elección de la metodología de desarrollo software para la creación este proyecto, y de diseñar bien los diagramas UML que permiten que el desarrollo del proyecto no pierda su dirección ni su propósito.

Se comprueba la versatilidad y productividad de las herramientas .NET usadas como Visual Studio C# y las librerías PdfSharp y ZedGraph que permitió el desarrollo de una aplicación muy versátil con gran rendimiento y de gran utilidad en el campo de la producción de azúcar blanco.

Se recomienda continuar con este desarrollo y crear una nueva versión que incluya más aplicaciones que den un mayor enfoque al conjunto de procesos, como incluir las etapas necesarias para el desarrollo de alcohol y/o cogeneración de energía. También se pueden incluir nuevas funcionalidades de interfaz como

poder guardar, cargar y abrir archivos con los datos de una simulación en especial, que no pudieron ser implementados en esta versión por los alcances que se le dio a este proyecto.

6 BIBLIOGRAFIA

6.1 LIBROS

- Enciclopedia de Microsoft, Visual C#, Fco. Javier Ceballos, Ed. Alfaomega Rama.
- ROGER S. PRESSMAN. Ingeniería del Software, Un Enfoque Practico. Quinta edición. Mc Graw Hill, Madrid 2002.
- ARQUED, A.P., Fabricación de Azúcar. Vol. 1. 1955: Salvat Editores
- HUGOT, E., Handbook of Cane Sugar Engineering, ed. ELSEVIER. 1986
- CHEN, G.P.M.J.C.P., Cane Sugar Handbook. 1977: Wiley -Interscience publication.

6.2 PROYECTOS DE GRADO

- Desarrollo de una herramienta software orientada a la web utilizando tecnología .NET para la comunidad académica de la universidad industrial de Santander - NETCELL UIS.
- Sistema de información basado en la web para la oficina de relaciones exteriores de la Universidad Industrial de Santander.

6.3 INTERNET

- Informe Anual de Asocaña 2007 2008.
http://www.asocana.com.co/Informes_Anuales/2007_2008/Informe2007-2008.pdf
- Organización ZedGraph
http://zedgraph.org/wiki/index.php?title=Main_Page
- PdfSharp.NET
www.pdfsharp.net/
- Desarrollador 5 Estrellas
www.mslatam.com/latam/msdn/comunidad/dce2005/

ANEXO A PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR

PREPARACIÓN Y MOLIENDA.

La etapa de preparación y molienda como se indicó anteriormente busca inicialmente preparar la caña aumentando su densidad para posteriormente alimentarla a una serie de molinos dispuesto en serie que separaran la fibra o bagazo del jugo contenido en este

Preparación de la caña.

En la etapa de preparación de la caña se utilizaron cuchillas cañeras o picadoras, en esta etapa se considera que no hay pérdidas y que no hay extracción del jugo. Se planteo un balance de masa y correlaciones para evaluar el consumo de potencia en estos equipos.

Balance de masa

Flujo másico de caña entra = Flujo másico de caña que sale

Para la determinación de la potencia consumida por las picadoras, las cuales son accionadas usando energía eléctrica se considero la siguiente ecuación usada por CENICAÑA para la descripción de este proceso.

$$\text{Potencia con} = \text{voltp} * \text{cmp} * \text{fpp}$$

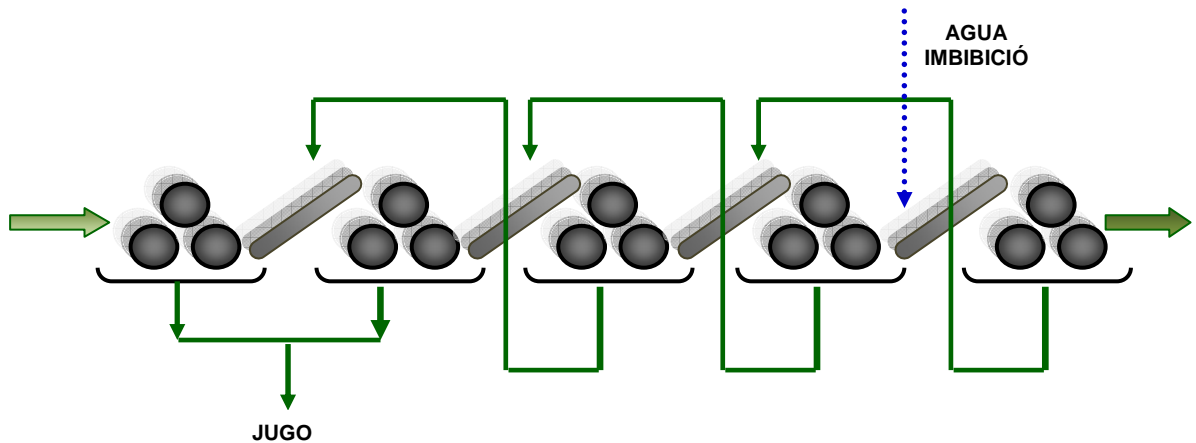
Además se calcula la relación del consumo de potencia por contenido de fibra en la caña

$$\frac{\text{HP}}{\text{THF}} = \frac{\text{potencia con}}{\text{cantidad de fibra en la caña}}$$

Molienda

Para este proceso se tomo un sistema de imbibición compuesta como el mostrado en la figura 1, en el cual se agrega agua de imbibición en el ultimo molino y el jugo obtenido en este es devuelto al anterior de manera consecutiva hasta el segundo

molinos con el fin de mejorar la extracción de jugo de la caña. Se uso este modelo dado que es uno de los más usado en la industria azucarera.



Esquema imbibición

Esta etapa se describió usando balances de masa que permiten evaluar la cantidad y composición de las diferentes corrientes junto con correlaciones para evaluar otros parámetros necesarios para el desarrollo de los cálculos.

Balances de masa

Balance total de masa en molino 1

$$\text{Caña}_{\text{entra}} = \text{Bagazo}_{\text{sale}} + \text{Jugo}_{\text{sale}}$$

Para los demás molinos

$$\text{Bagazo}_{\text{entra}} + \text{Jugo maceracion}_{\text{entra}} = \text{Bagazo}_{\text{sale}} + \text{Jugodrenado}_{\text{sale}}$$

Se evaluaron el flujo másico de bagazo y su contenido de fibra, sólidos solubles y agua:

Flujo de bagazo

$$\text{bag} = \frac{\text{TCH} * \text{fc}}{\text{Fb}}$$

Sólidos en bagazo

$$\text{solbag} = \text{bag} * \text{bb}$$

Fibra en bagazo

$$\text{fbag} = \text{bag} * \text{fb}$$

Agua en bagazo

$$Agbag = bag * hb$$

Las propiedades del bagazo como brix, humedad ,fibra y pol se determinaron asumiendo valores de la fibra en el bagazo para cada uno de los molinos de acuerdo a valores típicos reportados por la literatura.[15-17] Se define brix como una medida aproximada del total de los sólidos solubles disueltos en la solución, mientras que el Pol es una aproximación del contenido de sacarosa en la solución, la pureza es la relación entre el pol y el brix por lo tanto indica una aproximación al contenido de sacarosa en los sólidos solubles.[18, 23]

$$bb = \frac{bf}{1 + jb} * 100$$

$$hb = \frac{jb - bf}{1 + jb} * 100$$

$$fb = 100 - bb - hb$$

$$polb = bb * pureza$$

$$pureza = pureza caña * RP$$

La masa de jugo en el bagazo Jb junto con otros parámetros como el coeficiente de imbibición (I) y de reabsorción (k) se determinaron a través de las expresiones para la extracción en molinos reportada por [15]

$$Jb = bf/B^*$$

$$B^* = f(B^*d)$$

$$B^*d = bf/Vj$$

$$Vj = \frac{1}{1530} * \left[\left(\frac{K}{C} \right) - 1 \right]$$

$$C = \frac{1.81 \times 10^{-4} * TCH * \left(\% \frac{fc}{100} \right)}{dmm * lm}$$

$$S = \frac{\pi * dmm * rpm}{60}$$

$$K = f(C, S)$$

El coeficiente de reabsorción permite describir la cantidad de jugo extraído[24] y siempre tiene un valor mayor que a unidad.[15]

Para determinar el coeficiente de imbibición

$$I = \frac{B_{-1} - B}{B_{-1} - B_k}$$

$$B_{-1} = \frac{bb_{entra}}{fb_{entra}}$$

$$B = \frac{bb_{sale}}{fb_{sale}}$$

$$B_k = \frac{1}{1530} \left[\left(\frac{K}{C} \right) - 1 \right] * \phi_1(B_k^*) * B_k^*$$

Donde $\phi_1(B_k^*)$ es una función polinomial, que se puede expresar de manera general como

$$B^* = b_0 + b_1 B^* d + b_2 (B^* d)^2 + \dots$$

Los factores b se listan en el anexo 1. El coeficiente de Imbibición describe la cantidad de brix extraído, este coeficiente mezcla dos procesos distintos, la mezcla de la imbibición con el jugo en el bagazo alimentado y el jugo total contenido en las celdas abiertas.[24] el termino de $B_{-1} - B$ se corresponde al brix extraído por la molienda real, mientras que el termino $B_{-1} - B_k$ está vinculado con la extracción de brix que la molienda obtendría si el total del jugo alimentado a la molienda (el presente en el bagazo junto con la imbibición) se mezclaran uniformemente durante el proceso.[15]

Ahora se desarrollan los cálculos para la corriente de jugo que se extrae de cada molino.

$$\text{Soljd} = \text{solbag}[i] - \text{solbag}[i - 1]$$

Donde los sólidos bagazo $[i]$ son los sólidos que salen del molino $[i]$ y los sólidos bagazo $[i-1]$ son los sólidos del bagazo anterior.

Para calcular el agua que lleva la corriente de jugo diluido es necesario conocer la cantidad real de agua que contendrá el bagazo, esta será el agua contenida por este junto con el agua agregada para maceración (agm).

$$\text{agbr} = \text{agbag} + \text{agm}$$

$$\text{agjd} = \text{agbr}[i] - \text{agbr}[i + 1]$$

$$\text{Jd} = \text{agjd} + \text{soljd}$$

El agua de maceración es determinada por la cantidad de agua de imbibición agregada

$$agm = \frac{TCH * \%fc}{\%imbibiciónfibra}$$

Una vez se han calculado los flujos de cada uno de los molinos junto con sus composiciones se procede al cálculo de la extracción del molino en el tándem de molienda.

$$Ext = \frac{\frac{polb_{anterior}}{fb_{anterior}} - \frac{polb_{siguiente}}{fb_{siguiente}}}{\frac{polb_{anterior}}{fb_{anterior}}}$$

De manera análoga al cálculo realizado para cada molino, se puede calcular la extracción acumulada desde el primer hasta último molino o desde cualquier molino intermedio, usando en la composición del bagazo que se desecha, con la composición inicial de la caña.

$$Ext_{acumulada\ i} = \frac{\frac{pol_{caña}}{fc} - \frac{polb_i}{fb_i}}{\frac{pol_{caña}}{fc}}$$

Una vez conocido el desempeño y los diversos balances para la molienda se procederá a evaluar los parámetros de consumo de potencia cantidad de vapor consumido entre otros; para este desarrollo se usaron correlaciones reportadas por CENICAÑA y la literatura para la evaluación de estos parámetros.

Los molinos tienen un mecanismo hidráulico para ejercer una presión constante sobre la masa de bagazo que ingresa, la presión hidráulica específica hace referencia a la presión que supuestamente se ejercería sobre una superficie plana de longitud L y de ancho de 1/10 del diámetro.

$$PHE = \frac{P}{0.1 * L * dmm}$$

Donde P representa la presión hidráulica que se ejerce sobre el cilindro superior, la cual puede ser calculada como sigue:

$$P = 4.45 * Ph * \left(\frac{\pi * dp^2}{4}\right)$$

El cálculo de la potencia de los molinos es muy complejo e involucra muchos factores algunos difíciles de medir o de estimar, debido a estos factores se usa correlaciones que permiten generar estimados de esta

$$PT = pacc * TCH * fc/100$$

Donde la potencia de accionamiento

$$pacc = conesp/0.78$$

El consumo específico de potencia con respecto a la cantidad de fibra que ingresa a la molienda se obtiene mediante las siguientes expresiones.

$$cones = \frac{pentredos}{TCH * fc}$$

$$pentredos = f(\text{rpm, ajuste bag, dmm, lmm})$$

Donde el ajuste de la bagacera, indica la distancia en reposo con la cual se ajustara la maza bagacera que es la maza por la cual es desechado el bagazo.

$$ajustebag = \frac{ev * TCH * fc}{lm * S}$$

El termino ev se conoce como escribed volumen y hace referencia al volumen pasando por una sección del molino por unidad de tiempo.

$$ev = lm * W * S$$

Con respecto al movimiento de los molinos y el tipo de energía que usan para su movimiento se puede decir que estos usan motores eléctricos o maquinas de vapor, estas últimas son ampliamente difundidas ya que proveen bajas velocidades, altas eficiencias de manejo (en tamaños pequeños) proveyendo altos torques, estas características las hacen ideales para el manejo de las unidades de molienda; el movimiento de los molinos puede llevarse a cabo con motores individuales o reuniendo los molinos en grupos de dos o de tres. [1, 15] Las maquinas de vapor más usadas son las maquinas Corliss las cuales no usan vapor de muy altas presiones y poseen una buena eficiencia termodinámica [25]. Con el fin de evaluar el consumo de vapor en la estación de molienda se usaron las siguientes ecuaciones.

$$convap = \frac{2.204 * PT}{1341 * (hv - he)}$$

Donde la entalpia de vapor de escape y la entalpia del vapor vivo son funciones de la presión y la temperatura y obtenidas de los tablas de propiedades del vapor de agua reportadas por [26]

CLARIFICACIÓN DEL JUGO.

Para la etapa de purificación del jugo se plantearon los diversos balances de masa para cada uno de los equipos que componen esta etapa, con el fin de caracterizar las principales corrientes intermedias antes de llegar al jugo clarificado el cual es el alimento de la etapa siguiente que son los clarificadores. En esta etapa se incluyen la adición de cal para el ajuste del pH, así como el consumo de floculante. Para el cálculo del consumo de cal y floculante, flujo de solución de cal y de floculante y agua usada para la preparación se usaron las siguientes ecuaciones.

Consumo de cal

$$CC = \frac{ccal * TCH}{10^6}$$

Lechada de cal

$$lecal = 100 * CC/cpcal$$

Agua de la lechada de cal

$$aglec = \frac{CC * (100 - cpcal)}{cpcal}$$

De la misma manera se calculan estas propiedades para la adición del floculante. Para el cálculo de las corrientes de jugo encalado, jugo mezclado, jugo filtrado, y jugo claro así como de los lodos obtenidos en el clarificador y la corriente de lodos con bagacillo que se alimenta al filtro rotatorio y la cachaza se plantearon balances de masa en estado estable alrededor de cada uno de los equipos que conforman esta etapa así:

Balance de masa total

$$m_{entra} - m_{sale} = 0$$

Sólidos solubles

$$SS_{entra} - SS_{sale} = 0$$

Sólidos Insolubles

$$si_{entra} - si_{sale} = 0$$

Pol

$$pol_{entra} - pol_{sale} = 0$$

Agua

$$ag_{entra} - ag_{sale} = 0$$

Recordando que:

$$\text{Brix} = \frac{\text{solidos solubles}}{\text{masa total}}$$

$$\text{Pureza} = \frac{\text{pol}}{\text{ss}} * 100$$

Para los calentamientos primario y secundario se plantearon intercambiadores de tubo y coraza operando en contracorriente ya que unos de los más comunes en la industria. Para el cálculo de estos se realizo un pequeño un modelo matemático para describir este equipo.

Para el cálculo del área transversal

$$\text{Areatrans} = \frac{\pi * Nt * d^2}{4}$$

Área de intercambio

$$\text{Areamt} = \pi * d * l * Nt * Np$$

Velocidad del jugo

$$\text{veljugo} = \frac{f_{jugo}}{3.6 * \text{Areatrans} * \text{denjugo}}$$

La densidad del jugo será menor que la de las soluciones de sacarosa pura, con el mismo contenido de sustancia seca y a la misma temperatura e incrementara cuando se reduce la pureza. El cálculo de esta propiedad se encuentra en el anexo B. y fue reportada por[27]

Para calcular el consumo de vapor en el intercambiador se planteo un balance de energía

$$Q_{\text{vapor}} = Q_{\text{jugo}}$$

Donde

$$Q_{\text{jugo}} = m_{\text{jugo}} * c_{p_{\text{jugo}}} * (t_s - t_e)$$

$$Q_{\text{vapor}} = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vapor}}$$

Con el fin de evaluar el calor latente de vaporización se usaron las tablas reportadas por Hugot. Proporcionando una ecuación para el cálculo del calor latente de vaporización en función de la temperatura del vapor en °C.

$$\lambda_{\text{vapor}} = -1.255 \times 10^{-5} T^3 + 8.3717 \times 10^{-5} T^2 - 2.3298 T + 2499.581$$

Para determinar del calor específico para el jugo se han propuesto diferentes métodos y correlaciones que permiten calcular esta propiedad del jugo en base a diferentes variables, entre las propuestas se pueden contar las presentadas en los trabajos [28-30] para los cálculos de este trabajo se escogió una correlación reportada por [27]

$$C_p = 4.1868 - w_{DS} * (0.0297 - 4.6 \times 10^{-5} * \text{pureza}) + 7.5 \times 10^{-5} * w_{DS} * T$$

Los valores para $T > 100^\circ\text{C}$ son extrapolados

EVAPORACIÓN.

Para describir el proceso de evaporación se plantearon los balances de masa y energía para resolver un sistema de 5 evaporadores en serie, dado que para este proceso no se cuentan con igual número de ecuaciones que de incógnitas se planteó un sistema iterativo, para resolver el sistema de ecuaciones para los 5 efectos.

Para el planteamiento y desarrollo del presente modelo fueron consultados entre otros los siguientes trabajos. [20, 28, 31-34]

Para este modelo se tuvo en cuenta que cuando un evaporador de efecto múltiple opera en estado estacionario, la velocidad de flujo y la de evaporación son constantes en cada efecto. Las presiones, las temperaturas y las velocidades del flujo interno se mantienen constantes de manera automática por las condiciones de estado estacionario del propio proceso.

El modelo inicio efectuando un balance de sólidos en todo el sistema de evaporación para conocer el flujo de salida del efecto i. Comenzando un cálculo que va desde el último efecto hasta el primero.

$$Js[i] = \frac{Bjc * Jc}{Bs[i]}$$

Planteando un balance de masa tomando como sistema el jugo, en el último evaporador se evalúa la corriente de jugo que entra al evaporador.

$$Je[i] = Vs[i] + Js[i]$$

Ahora se calculo el brix de la corriente de entrada al i-esimo evaporador.

$$Be[i] = \frac{Bs[i] * Js[i]}{Je[i]}$$

Con el fin de conocer el flujo de vapor que ingresa al evaporador se planteo un balance de energía en el efecto [i].

$$Q_{\text{entregado por vapor}} = Q_{\text{jugosale}} + Q_{\text{vaporsale}} - Q_{\text{jugoentra}}$$

El cálculo del calor para cada una de las corrientes se evalúa así:

$$Q_{\text{jugoentra}} = Je[i] * h_{je[i]} = \frac{Je[i] * Cp_{je[i]} * T_{\text{jugoentra}}[i]}{3600}$$

$$Q_{\text{jugosale}} = Js[i] * h_{js[i]} = \frac{Js[i] * Cp_{js[i]} * T_{\text{jugosale}}[i]}{3600}$$

$$Q_{\text{vapor sale [i]}} = \frac{Vs[i] * h_{vs[i]}}{3600}$$

Dado que el calor entregado por el vapor se puede expresar como:

$$Q_{\text{entregadopor vapor que entra al evap [i]}} = \frac{\lambda_{\text{vaporizacion [i]}} * Ve[i]}{3600}$$

Conociendo el λ de vaporización y Q entregado puedo calcular volumen del vapor que entra al efecto [i]

$$Ve[i] = \frac{3600 * Q_{\text{entregado por vapor que entra al evap [i]}}{\lambda_{\text{vaporizacion [i]}}}$$

Con el vapor que entra al efecto [i] cálculo el vapor que sale del efecto [i-1]

$$Vs[i - 1] = Ve[i] + Vext[i - 1]$$

Donde el vapor extraído hace referencia al vapor que se extrae para otros procesos como cristalización u otros.

Conociendo el vapor que sale de evaporador [i-1] se plantean nuevamente los balances de masa y energía siguiendo el esquema anterior, hasta llegar al primer efecto.

Además de las ecuaciones de balance de masa y energía, para desarrollar el cálculo en los evaporadores es necesario considerar que la solución que se maneja en estos equipos son concentradas. Por tanto, las propiedades térmicas de las soluciones que se evaporan pueden ser muy diferentes a las del agua. Las concentraciones de las soluciones son bastante altas por lo cual los valores de capacidad calorífica y punto de ebullición son muy distintos de los del agua. En el caso de la temperatura de ebullición de las soluciones se debe tener en cuenta que estas presentaran un valor diferente según cambie la concentración de sacarosa para evaluar este aumento en el punto de ebullición (EVP o BPE, Boiling Point elevation) el cual ha sido documentado por varios autores planteándose diversas correlaciones empíricas para evaluarlo, [14, 16, 28, 29, 35, 36], para la evaluación de este parámetro se uso la ecuación reportada por [27].

CLARIFICACION DE LA MELADURA

El proceso de clarificación de la meladura es similar al desarrollado durante la clarificación del jugo. Para esta etapa se plantearon los balances de masa para cada equipo con el fin de obtener la el flujo, así como la cantidad de sólidos solubles, insolubles, agua, en las diferentes corrientes. También se desarrollaron

las ecuaciones para conocer el consumo de cal, floculante, ácido fosfórico y azufre que esta etapa consume.

Consumo de cal

$$CC = \frac{ccal * TCH}{10^6}$$

Lechada de cal

$$lecal = 100 * CC/cpcal$$

Agua de la lechada de cal

$$aglec = \frac{CC * (100 - cpcal)}{cpcal}$$

Estas mismas ecuaciones son usadas para evaluar los consumos de floculante, ácido fosfórico y azufre

Posteriormente se plantean los balances de masa para conocer la corriente de meladura sulfitada, meladura clarificada y meladura clara

Balance de masa total

$$m_{entra} - m_{sale} = 0$$

Sólidos solubles

$$ss_{entra} - ss_{sale} = 0$$

Sólidos Insolubles

$$si_{entra} - si_{sale} = 0$$

Pol

$$pol_{entra} - pol_{sale} = 0$$

Agua

$$ag_{entra} - ag_{sale} = 0$$

Recordando que:

$$Brix = \frac{\text{solidos solubles}}{\text{masa total}}$$

$$\text{Pureza} = \frac{pol}{ss} * 100$$

CRISTALIZACIÓN

Esta etapa en la mayoría de los casos tiene una operación en batch, Sin embargo para el modelo matemático se plantearon balances de masa y energía en estado estacionario en cada uno de los sistemas de evaporación al vacío conocidos como tachos con el fin de conocer el flujo y la composición de las diferentes masas y posteriormente en las centrifugas para conocer las corrientes de miel y cristal. Este modelo depende mucho de la configuración utilizada por cada ingenio. Para este caso se planteó un sistema de tres etapas, es decir que tendrá tres masas A, B, C, cada una alimentada con la miel obtenida en el tacho anterior, exceptuando la masa A, la cual es alimentada con el jarabe o meladura proveniente de la evaporación.

El cristal semilla para la masa A será el proveniente de las segundas centrifugas, el de la masa B el de las terceras y la masa C es alimentada con una corriente conocida como cristal desarrollado. El cristal desarrollado proviene de la cristalización de parte de la miel A, y de la miel B en dos tachos conocidos como tacho de cristal primitivo y un segundo, llamado tacho de cristal desarrollado. A continuación se muestran un conjunto de ecuaciones básicas para el cálculo de las corrientes en la estación

Balance de masa

Se realiza un balance de masa en cada estación, en la que se determinan los solubles, insolubles pol y agua de las corrientes de (masa A,B y C, Miel A,B y C, Semilla B y C, Cristal primitivo, desarrollado y azúcar).

$$SS_{entra} - SS_{sale} = 0$$

Esta ecuación se puede expresar también en los siguientes términos

$$brix * m_{entra} - brix * masa_{sale} = 0$$

Balance de Pol:

$$pol_{entra} - pol_{sale} = 0$$

$$ag = mt - insolubles - solubles$$

Ya que

$$\text{Pureza} = \frac{\text{pol}}{\text{ss}} * 100$$

Se puede decir que

$$\text{pureza} * \text{ss}_{\text{entra}} - \text{pureza} * \text{ss}_{\text{sale}} = 0$$

Sacarosa: para calcular la sacarosa que se obtendrá en la miel final se uso la ecuación

$$\text{SS}_{\text{miel C}} = \frac{\text{SS}_{\text{meladura}} * (\text{Pureza}_{\text{meladura}} - \text{Pureza}_{\text{azúcar}})}{\text{Pureza}_{\text{miel C}} - \text{Pureza}_{\text{azúcar}}}$$

Ya con el agua de cada corriente se hace un balance de agua y se puede calcular el agua evaporada en cada tacho utilizando.

$$\text{ag}_{\text{entra}} - \text{ag}_{\text{sale}} = 0$$

Para calcular el calor consumido y la cantidad de vapor requerido en cada tacho se planteó un balance de energía

$$Q_{\text{entregado por vapor}} = Q_{\text{masasale}} + Q_{\text{vaporsale}} - Q_{\text{mielentra}}$$

El cálculo del calor para cada una de las corrientes se evalúa así:

$$Q_{\text{mielentra}} = \text{miele} * h_{\text{me}} = \frac{\text{miele} * \text{Cp}_{\text{me}} * T_{\text{mielentra}}}{3600}$$

$$Q_{\text{masasale}} = \text{masas} * h_{\text{masas}} = \frac{\text{masas} * \text{Cp}_{\text{masas}} * T_{\text{masasale}}}{3600}$$

$$Q_{\text{vapor sale}} = \frac{V_s * h_{v_s}}{3600}$$

Dado que el calor entregado por el vapor se puede expresar como:

$$Q_{\text{entregado por vapor que entra al tacho}} = \frac{\lambda_{\text{vaporización}} * V_e}{3600}$$

Conociendo el λ de vaporización y Q entregado puedo calcular volumen del vapor que entra al efecto

$$V_e = \frac{3600 * Q_{\text{entregado por vapor que entra al tacho}}}{\lambda_{\text{vaporización}}}$$

Al igual que en los evaporadores la temperatura para el cálculo de la temperatura de la masa se deberá tener en cuenta la elevación del punto de ebullición (ver anexo C)[27]

SECADO

Durante el secado el azúcar obtenido perderá humedad hasta alcanzar valores que pueden estar entre 1 y 0.05 % dependiendo del tipo de azúcar. Para establecer las corrientes de azúcar seco aire húmedo y vapor consumido para el calentamiento se plantearon los balances de masa y energía

Dado que el aire que se introduce al secador es aire tomado de la atmosfera y este posee una humedad relativa se calcula inicialmente la cantidad de aire real que ingresaría al secador.

Inicialmente se calculo la humedad en base seca para el aire

$$H_{\text{base seca}} = \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire seco}} = \frac{M_A * P_{\text{sat}} * \text{Hr}/100}{M_B(1 - P_{\text{sat}} * \frac{\text{Hr}}{100})}$$

Donde para calcular la presión de saturación del agua se usa la ecuación de Antoine, las constantes para esta ecuación fueron reportadas por[37]

$$P_{\text{sat}} = e^{\left(\frac{18.3036 - \frac{38.18.4}{-46.13 + (T_{\text{aire}} + 273.15)}}{\quad} \right)}$$

Para calcular el flujo de agua que entra con el aire

$$a_{\text{aire}} = a_{\text{aire seco}} * H_{\text{base seca}}$$

Flujo de aire húmedo que entra

$$\text{Aire humedo entra} = \text{aire seco} + a_{\text{g}}$$

Para la corriente de azúcar seco planteamos los balances de masa

Sólidos solubles

$$SS_{\text{entra}} - SS_{\text{sale}} = 0$$

Pol

$$p_{ol_{entra}} - p_{ol_{sale}} = 0$$

Agua

$$a_{g_{entra}} - a_{g_{sale}} = 0$$

Para calcular la cantidad de vapor necesaria para calentar el aire se plantea un balance de masa

$$Q_{\text{entregado por vapor}} = Q_{\text{aire seco}} + Q_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{entregado por vapor}} = a_{\text{aireseco}} * C_{p_{\text{aire}}} + A_{\text{aire}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{secador}} - T_{\text{aire entrada}})$$

PRODUCCIÓN DE VAPOR

La generación de vapor es una etapa importante para la industria azucarera. En este proceso se produce la energía térmica necesaria para las diferentes etapas del proceso y también se puede generar parte de la energía eléctrica que este demanda en este caso se estudio una caldera que cubre los requerimientos de vapor del proceso. .

La generación de vapor para la producción de azúcar generalmente usa en calderas acuatubulares que permiten alcanzar mayores presiones que otro tipo de calderas, esto para que puedan suplirse las necesidades del proceso. Estas calderas pueden operar usando diferentes tipos de combustible, depende de las facilidades económicas y técnicas del proceso en el cual se usen, en el caso de la producción de azúcar se usan como combustibles el carbón, y el bagazo que es un subproducto obtenido durante la molienda de la caña.

El vapor obtenido en la caldera es llevado a turbinas, máquinas de vapor y además pasa por válvulas que permitan regular la presión del vapor antes de ser llevado a los diferentes procesos, como la preparación y molienda, calentamiento primario y secundario del jugo diluido en la etapa de purificación del jugo, evaporadores y tachos, secado del azúcar y también es usado para limpieza de equipos entre otros.

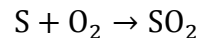
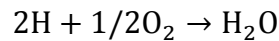
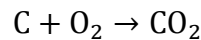
Inicialmente se procedió con el desarrollo de los cálculos estequiométricos para el combustible,.

$$bh = \frac{\text{composicion teorica} * (1 - \text{humedad} - \text{cenizas})}{\text{peso total comp teoricos}}$$

Compuesto	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno
Comp. teórica	0.47	0.065	0.44

$$\%bs = \frac{\%bh_{\text{compuesto}}}{100 - \text{humedad}}$$

Ahora se llevaran a cabo los balances para la combustión del bagazo y/o carbón en las calderas, teniendo en cuenta que:



El O_2 necesario para quemar el combustible en las calderas

$$\text{Kg } O_2 \text{ para quemar C} = \text{Kg C} * \left(\frac{32 \text{ kg } O_2}{12 \text{ kg de C}} \right)$$

$$\text{Kg } O_2 \text{ para quemar H} = \text{kg H} * \left(\frac{16 \text{ kg } O_2}{2 \text{ kg de H}} \right)$$

$$\text{Kg } O_2 \text{ para quemar S} = \text{kg S} * \left(\frac{32 \text{ Kg } O_2}{64 \text{ de S}} \right)$$

Ahora se calcula el Oxígeno teórico totales para el combustible

$$O_2 \text{ teorico} = \text{kg } O_2 \text{ para quemar C} + \text{kg } O_2 \text{ para quemar H} + \text{kg } O_2 \text{ para quemar S} \\ - \text{Kg } O_2 \text{ en combustible}$$

Aire teórico

$$O_2 \text{ en aire estequimetrico} = O_2 \text{ teorico}$$

$$N_2 \text{ en aire estequimetrico} = \left(\frac{79}{21} \right) O_2 \text{ en aire estequimetrico}$$

$$\text{Aire teorico} = O_2 \text{ en aire estequimetrico} + N_2 \text{ en aire estequimetrico}$$

Aire real

Sera el aire teórico con un porcentaje de exceso

$$O_2 \text{ entra} = O_2 \text{ estequimetrico} * r$$

$$N_2 \text{ entra} = N_2 \text{ estequimetrico} * r$$

$$r = \frac{\text{aire alimentado}}{\text{aire teorico}} = 1.15$$

$$\text{Aire}_{\text{real}} = \text{aire}_{\text{teorico}} * r$$

Balance de masa para gases de Salida

$$N_2 \text{ sale} = N_2 \text{ entra}$$

$$\text{Agua}_{\text{sale}} = \text{Humedad combustible} + \text{agua formada} + \text{humedad aire}$$

$$CO_{\text{sale}} = \text{Kg C en combustible} / \left(\frac{CO_2}{CO} + 1 \right)$$

$$CO_2 \text{ sale} = CO_{\text{sale}} * \left(\frac{CO_2}{CO} \right)$$

$$SO_2 \text{ sale} = S \text{ en combustible}$$

CENICAÑA cuenta con un modelo para la evaluación de la producción de vapor en las calderas, a continuación se muestra las ecuaciones reportadas para la estimación de algunos de los parámetros importantes en esta etapa.

$$\text{inquemados} = 0.2 * \text{hollin} + 0.8 * \text{parrilla}$$

$$\text{cenizas en Inquemados} = 100 - \text{Inquemados}$$

Ahora se calculan las pérdidas de energía en la caldera por los inquemados

$$\text{Inquemados} = 2 \times 10^5 * \frac{\text{Cenizas combustible}}{\text{Cenizas Inquemados}}$$

El calor perdido en los gases de combustión, las pérdidas por radiación y convección y las pérdidas indeterminadas dado por las siguientes ecuaciones.

$$Q_{\text{gases}} = f(T_{\text{salida gases}}, T_{\text{ambiente}})$$

$$\text{Radiacion y conveccion} = f(PCS_{\text{combustion}})$$

$$\text{indeterminados} = f(PCS_{\text{combustion}})$$

Ahora se calculan el calor utilizado y luego la eficiencia de la caldera dado por la ecuaciones

$$Q_{\text{utilizado}} = PCS_{\text{combustion}} - \text{Total perdidas}$$

$$\text{eficiencia}_{\text{caldera}} = 100 * \frac{Q_{\text{utilizado}}}{\text{PCS}_{\text{combustion}}}$$

Hasta aquí se describe el modelos matemático en estado estable para cada una de las etapas del proceso de producción de azúcar, este modelo es muy complejo para su solución ya que contiene múltiples ecuaciones de carácter no lineal, y por la cantidad de cálculos simultáneos y cruce de información entre las diferentes etapas para poder solucionar el modelo completo.

CONSTANTES

Constantes A

Coefficientes para el polinomo Φ_1 y Φ_2

Coeficiente	Termino	Valor	Coeficiente	Termino	Valor
a_0	constante	9.98268×10^2	b_0	Constante	0.0
a_1	B^*	3.87949×10^2	b_1	(B^*d)	1.00172×10^3
a_2	B^{*2}	1.28260×10^2	b_2	$(B^*d)^2$	-3.87679×10^{-7}
a_3	B^{*3}	2.66807×10^3	b_3	$(B^*d)^3$	1.74228×10^{-10}
a_4	B^{*4}	-3.24645×10^4	b_4	$(B^*d)^4$	-1.29729×10^{-13}
a_5	B^{*5}	2.34699×10^5	b_5	$(B^*d)^5$	1.88085×10^{-16}
a_6	B^{*6}	-9.79110×10^5	b_6	$(B^*d)^6$	-1.61437×10^{-19}
a_7	B^{*7}	2.18486×10^6			
a_8	B^{*8}	-2.01851×10^6			

Constantes B

Calculo densidad de soluciones técnicas de sacarosa (Kg/m^3)

$$\rho = \rho_p + \Delta\rho$$

Donde $\Delta\rho$ es la diferencia entre las soluciones de sacarosa técnica y pura a la misma temperatura

$$\Delta\rho = -1 + \exp[(-6.927 \times 10^{-6} * w_{DS}^2 - 1.165 \times 10^{-4} * w_{DS}) * (q - 100)]$$

Donde w_{DS} son proporción de masa en materia seca

$$\rho_p = \rho_w + \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5$$

$$\rho_w = \frac{(q + q_1 + q_2)}{q_3}$$

$$q = 999.83952 + 16.952577 \cdot t - 7.9905127 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$q_1 = -46.241757 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 105.844601 \cdot 10^{-9} \cdot t^4$$

$$q_2 = -281.03006 \cdot 10^{-12} \cdot t^5$$

$$q_3 = 1 + 16.887236 \cdot 10^{-3} \cdot t$$

$$w = w_s \div 100 \cdot t = (t - 20) \div 100$$

$$\rho_1 = b_1 \cdot w + b_2 \cdot w^2 + b_3 \cdot w^4 + b_5 \cdot w^5 + b_6 \cdot w^6$$

$$\rho_2 = (b_{11} \cdot w + b_{12} \cdot w^2 + b_{13} \cdot w^3 + b_{14} \cdot w^4 + b_{15} \cdot w^5) \cdot t$$

$$\rho_3 = (b_{21} \cdot w + b_{22} \cdot w^2 + b_{23} \cdot w^3 + b_{24} \cdot w^4) \cdot t^2$$

$$\rho_4 = (b_{31} \cdot w + b_{32} \cdot w^2 + b_{33} \cdot w^3) \cdot t^3$$

$$\rho_5 = (b_{41} \cdot w + b_{42} \cdot w^2) \cdot t^4$$

$b_1 = 385.1761$	$b_{11} = -46.2720$	$b_{21} = 59.7712$	$b_{31} = -47.2207$
$b_2 = 135.3705$	$b_{12} = -7.1720$	$b_{22} = 7.2491$	$b_{32} = -21.6977$
$b_3 = 40.9599$	$b_{13} = 1.1597$	$b_{23} = 12.3630$	$b_{33} = 27.6301$
$b_4 = -3.9643$	$b_{14} = 5.1126$	$b_{24} = -35.4791$	$b_{41} = 18.3184$
$b_5 = 13.4853$	$b_{15} = 17.254$		$b_{42} = 12.3081$
$b_6 = -17.2890$			

Valores para $w_s > 60\%$ y para $10^\circ \text{C} < t < 80^\circ \text{C}$ son extrapolados

Constantes C

Elevación del punto de ebullición Δt_b de soluciones técnicas y puras de sacarosa en K

$$\Delta t_b = a \cdot w_{DS}^2 \frac{(273 + t)^2}{(374.3 - t)^{0.38}} [b \cdot (w_{DS} - k)^2 + c]$$

$$a = a_0 + a_1 \cdot q + a_2 \cdot q^2 \quad b = b_0 + b_1 \cdot q + b_2 \cdot q^2 \quad c = c_0 + c_1 \cdot q + c_2 \cdot q^2$$

	w_{DS} desde 0 a 60%	w_{DS} desde 60 a 90%
k	40	60
a_0	$1.59515 \cdot 10^{-4}$	$1.67525 \cdot 10^{-4}$
a_1	$-2.00092 \cdot 10^{-6}$	$-1.85299 \cdot 10^{-6}$

a_2	$8.01933 \cdot 10^{-9}$	$7.92284 \cdot 10^{-9}$
b_0	$1.84440 \cdot 10^{-6}$	$2.87764 \cdot 10^{-6}$
b_1	$-3.04380 \cdot 10^{-8}$	$-2.77263 \cdot 10^{-8}$
b_2	$1.72958 \cdot 10^{-10}$	$1.44306 \cdot 10^{-10}$
c_0	$1.08062 \cdot 10^{-3}$	$1.06668 \cdot 10^{-3}$
c_1	$2.89645 \cdot 10^{-6}$	$2.10304 \cdot 10^{-6}$
c_2	$-3.0416 \cdot 10^{-8}$	$-4.28374 \cdot 10^{-8}$

ANEXO B MANUAL DE USUARIO

Este manual es una guía documentada para ayudar a comprender mejor las funciones que puede realizar el usuario de SEPPRAZ 1.0. Se encuentra dividido de acuerdo a los tipos de formularios (Ventanas de Windows), que permiten la navegación del simulador.

SIMULACIÓN

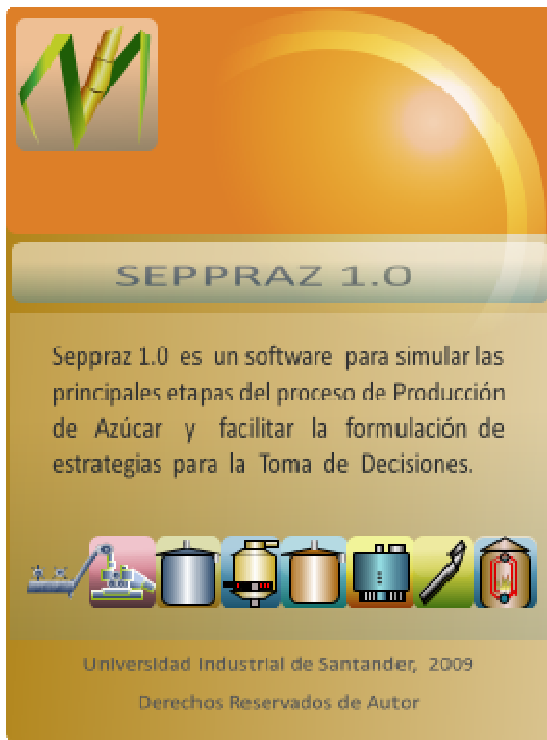
Seppraz 1.0 es una aplicación que ayuda a simular las etapas del proceso de producción de azúcar. Para comprender mejor su funcionamiento se explican los modos de ejecución:

FORMULARIOS

Los formularios son las ventanas de Windows que permiten la navegación y ejecución de la aplicación. A continuación explicaremos todas las ventanas y las utilidades que tiene cada una de ellas.

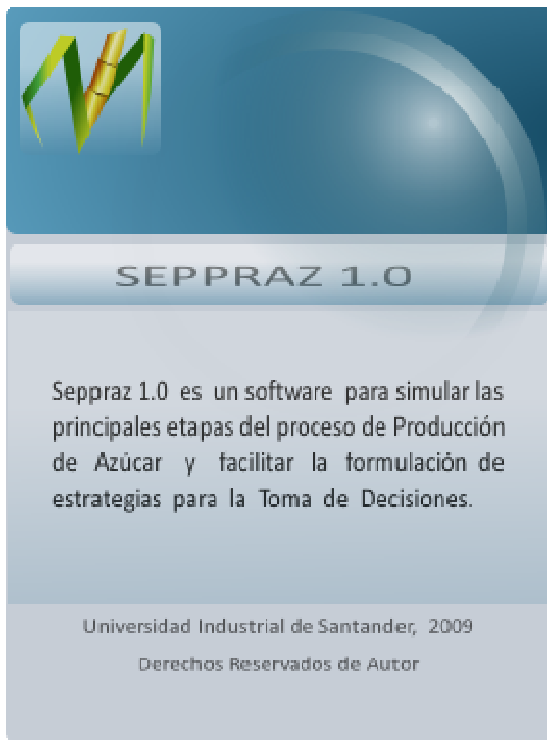
Ventana de Bienvenida

Es la primera ventana que se muestra, contiene el nombre y la descripción del simulador, se cierra automáticamente.



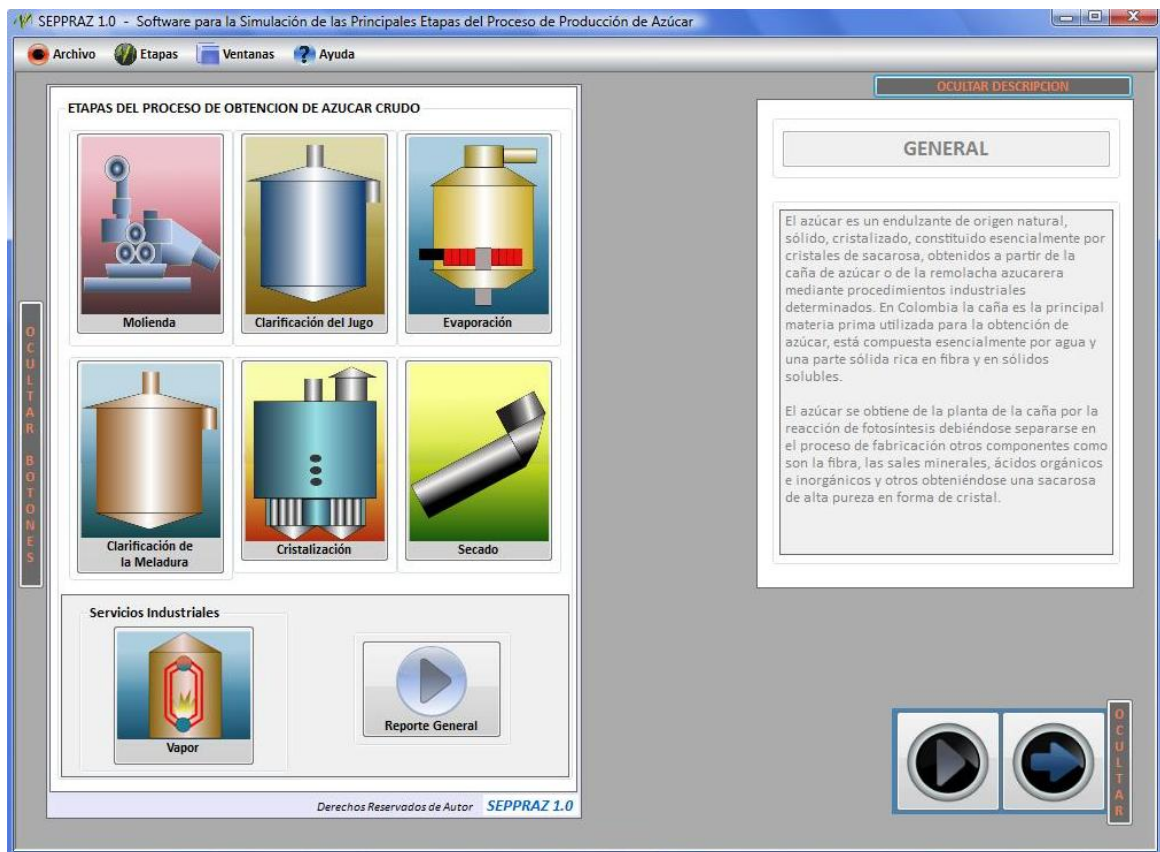
Ventana de Acerca de

Contiene información y detalles del simulador.



Ventana Principal

El Formulario o Ventana Principal, es una ventana que contiene al resto de las ventanas de la aplicación, dentro de ésta se podrán abrir los formularios de las etapas del proceso de Producción de Azúcar Blanco.



Este formulario consta de cuatro secciones que se explicaran a continuación:

Ventanas de selección de las Etapas



Está ubicado en la parte izquierda del formulario principal. Dentro de este formulario se encuentran los botones para cada una de las etapas del proceso y haciendo click en alguno de estos, se abrirá la ventana de la etapa correspondiente.

Por medio de este formulario se navega mejor y al ejecutar alguna de las etapas, esta ventana se ocultará.

Ventana de Controles de Ejecución

Se encuentra ubicada en el costado inferior derecho del formulario principal y consta de dos botones que se mantienen deshabilitados hasta que se abra y esté activa alguna de las ventanas de las etapas del proceso.



- **Botón de Ejecución del Simulador** (A la izquierda)
Este botón es habilitado al tener una de las ventanas de las etapas abiertas. En ese momento, si damos click en este botón, daremos inicio a la ejecución de la simulación para dicha Etapa.
- **Botón de siguiente Etapa** (A la derecha de la imagen)
Al igual que el anterior botón, éste sólo se habilitará cuando se encuentre abierta alguna de las ventanas de las etapas del proceso, al hacer click en el botón, permitirá ejecutar (calcular) la simulación de la etapa actual y abrirá automáticamente la ventana de entrada de datos de la etapa inmediatamente siguiente (si existe).

“Este botón es el más recomendado para hacer una simulación de las etapas del proceso de forma secuencial”.

Barra de Navegación

Se ubica en la parte superior del formulario principal y despliega los botones con las funciones de los controles:



- **Archivo:** Contiene dos submenús, Nuevo y Salir, que permiten abrir una nueva simulación con datos por defecto del proceso completo y salir del simulador respectivamente.
- **Etapas:** Contiene submenús para cada una de las etapas, que permiten ejecutar cada una de las mismas.
- **Ventanas:** Contiene submenús con las ventanas que se encuentran abiertas y submenús para minimizarlas u organizarlas.
- **Ayuda:** Nos permite ver la ayuda de la aplicación.

Ventana de Descripción

En esta ventana se muestra la información general del formulario que se encuentre activo ya sea el formulario principal o uno de los formularios de las etapas del proceso.

GENERAL

El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales de sacarosa, obtenidos a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera mediante procedimientos industriales determinados. En Colombia la caña es la principal materia prima utilizada para la obtención de azúcar, está compuesta esencialmente por agua y una parte sólida rica en fibra y en sólidos solubles.

El azúcar se obtiene de la planta de la caña por la reacción de fotosíntesis debiéndose separarse en el proceso de fabricación otros componentes como son la fibra, las sales minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros obteniéndose una sacarosa de alta pureza en forma de cristal.

Ventanas de las Etapas del Proceso

Este tipo de formularios son los encargados de contener los principales datos para la ejecución de la aplicación.

Debido a que son demasiados datos se hace un auto-cargado de los datos de entrada por defecto del simulador para no tener que digitarlos cada vez que se requiera ejecutar la simulación, de esta forma solo se modifican los datos que se necesitan cambiar para su análisis.

Todos los formularios de este tipo contienen un conjunto de botones en la parte inferior con funciones específicas.

Ventana de Preparación y Molienda

Descripción del proceso

La etapa de preparación y molienda comienza cuando la caña ha sido cosechada y transportada al ingenio, en la preparación la caña se pesa, se lavada y por último se usa unos sistemas de cuchillas giratorias que buscan cortar la caña pero sin extraer el jugo y/o desfibradoras que reducen la caña a tiras, con el fin de alimentar una masa uniforme a la etapa de molienda.

El sistema de molienda consiste de 5 o 6 molinos (o tándem) dispuestos en serie por el cual pasa la caña, cada Molino consta de tres o cuatro rodillos (mazas) que están dispuesto en forma triangular a través de los cuales pasa la caña o bagazo.

Este proceso se puede llevar a cabo de forma simple o agregando una corriente de agua caliente en el último molino, el jugo obtenido en este se devuelve al penúltimo y este a su vez al anterior, con el fin de mejorar la extracción, este proceso se conoce con el nombre de imbibición.

El jugo obtenido se lleva a tanques de almacenamiento en el cual se pesa y se conduce a la siguiente etapa de purificación del jugo.

PREPARACIÓN Y MOLIENDA

CAÑA Y PICADORAS MOLINOS

Preparación de la Caña

Toneladas de Caña por Hora	38	Ton / h
Brix de la Caña	15,2	%
Pol de la Caña	13,5	%
Fibra de la Caña	15,9	%
Tiempo Perdido	5,0	%
Materia Extraña	2,0	%

Picadoras

Picadora 1 Picadora 2

Corriente del Motor	450	Ton / h
Voltaje	440	Volt
Factor de Potencia	0.89	
Potencia Instalada	570	HP

POC 78

POC Pol en celdas abiertas

Datos de Entrada

Es el formulario de la primera etapa del proceso de producción, está conformado por el conjunto de datos necesarios para hacer la simulación de la etapa.

El formulario se encuentra dividido por dos pestañas en la parte superior que separan los subprocesos de la etapa:

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Preparación y Molienda	Preparación de la caña y Picadoras.	Preparación de la caña y las especificaciones de las picadoras.
	Molinos del 1° al 5°.	Características físicas de las de los molinos 1° al 5°.

Ventana de Clarificación del jugo

Descripción del proceso

El jugo obtenido en la etapa de molienda se conoce con el nombre de jugo diluido, al salir de los molinos dicho jugo contiene residuos sólidos, así que una vez éste sale de la etapa de molienda y luego de pesarlo, es pasado a través de un filtro que permitirá retirar residuos sólidos como el bagacillo.

El jugo diluido proveniente de la molienda es ácido y turbio, así que una vez retirado el bagacillo que se encuentra en el jugo, este es llevado al proceso de clarificación, este proceso busca eliminar impurezas solubles e insolubles con ayuda de agentes clarificantes.

CLARIFICACIÓN DEL JUGO

GENERALES INTERCAMBIADORES DE CALOR

Primario Secundario Jugo Claro

Intercambiador Calentamiento Primario

Diámetro de Tubos	0.0366	m
Longitud de Tubos	4.9	m
Número de Tubos / Paso	6	
Número de Pasos	12	
Factor de pérdida	1	
Tiempo de Operación en días por semana	7	d / s

Calentamiento primario

Temperatura de Entrada	35	°C
Temperatura de Salida	85	°C
Vapor Calefactor	WV1	

Datos de Entrada

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Clarificación de Jugo	Datos generales	Mezclador de cachaza, filtro rotatorio, jugo diluido, floculante y características del tanque de jugo encalado.
	Intercambiadores de calor	Características físicos de los tres intercambiadores de calor primario, secundario y el jugo claro.

VENTANA DE EVAPORACIÓN

Descripción del proceso

En esta etapa se busca concentrar la solución de sacarosa en el jugo hasta valores cercanos a los 65° Brix. La corriente de salida de los evaporadores se

conoce con el nombre de jarabe y meladura esta será posteriormente alimentada al proceso de Cristalización.

Cerca al 85% del jugo clarificado es agua, este proceso pretende retirar la mayor cantidad de agua presente, para esto el jugo se hace pasar por un sistema de evaporación al vacío dispuesto en serie donde la solución sacarosa-agua se evapora cada vez a temperaturas más bajas gracias a que en cada uno de los cuerpos posee un nivel de vacío mayor que el anterior.

EVAPORACIÓN

EVAPORADORES

Número de Efectos 5

Vapor de Escape

Temperatura	132	°C
Presión	15.1	psi

Área de Transferencia

Evaporador 1	566	m2
Evaporador 2	377	m2
Evaporador 3	194	m2
Evaporador 4	156	m2
Evaporador 5	192	m2

Condensador

Temperatura Agua	30	°C
Approach	13	°C

Presión Cuerpo de cada Evaporador

Evaporador 1	150	Kpa
Evaporador 2	114.21	Kpa
Evaporador 3	78.4	Kpa
Evaporador 4	42.6	Kpa
Evaporador 5	17.5	Kpa

Brix salida

Ultimo Efecto	64,0	%
---------------	------	---

Datos de Entrada

Etapas	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
---------------	-----------------	-------------------------------------

Evaporación	Evaporadores	Vapor de escape, condensador, gases de salida del último efecto, área de transferencia y Brix de salida.
--------------------	--------------	--

VENTANA DE CLARIFICACIÓN DE LA MELADURA

Descripción del proceso

La meladura contiene hierro presente en forma de óxidos u otros compuestos los cuales le dan color. El proceso de sulfitación es el método por el que se hacen reaccionar el hierro de los compuestos presentes en la meladura cruda con bióxido de azufre (SO₂) para formar sales que son compuestos incoloros y por lo tanto mejoran la calidad del azúcar.

Este proceso se puede hacer en frío o caliente y tiene como consecuencia una caída en el pH (hasta ± 5.2) y a la temperatura de la meladura (± 60 °C) podemos presentar problemas de formación de azúcares reductores por hidrólisis ácida de la sacarosa. Para evitar este problema se encala rápidamente para neutralizar este pH. Inmediatamente después se agrega ácido fosfórico, este ácido forma puentes fosfato – calcio que constituyen la floculación primaria por medio de la cual se recogen impurezas.

Esta meladura es calentada y llevada al clarificador en el cual se forma una espuma sobrenadante que contiene las impurezas y la meladura pasa a cristalización.

CLARIFICACIÓN DE LA MELADURA

GENERALES TORRE DE SULFITACIÓN

Meladura Cruda

Pureza 88,0 %

Azufre

Consumo de Azufre 97,5 ppm

Absorción 80,0 %

Espuma

Espuma % Caña 1,0 %

Brix 57,0 %

Pureza 85,0 %

Humedad 23,0 %

Floculante

Consumo de Floculante 4 ppm

Concentración Solución 0.055 %p/p

Calentamiento Directo

Temperatura de Entrada 62 °C

Temperatura de Salida 80 °C

Brix Salida Meladura Cal. 59,0 %

Vapor Calefactor VRA

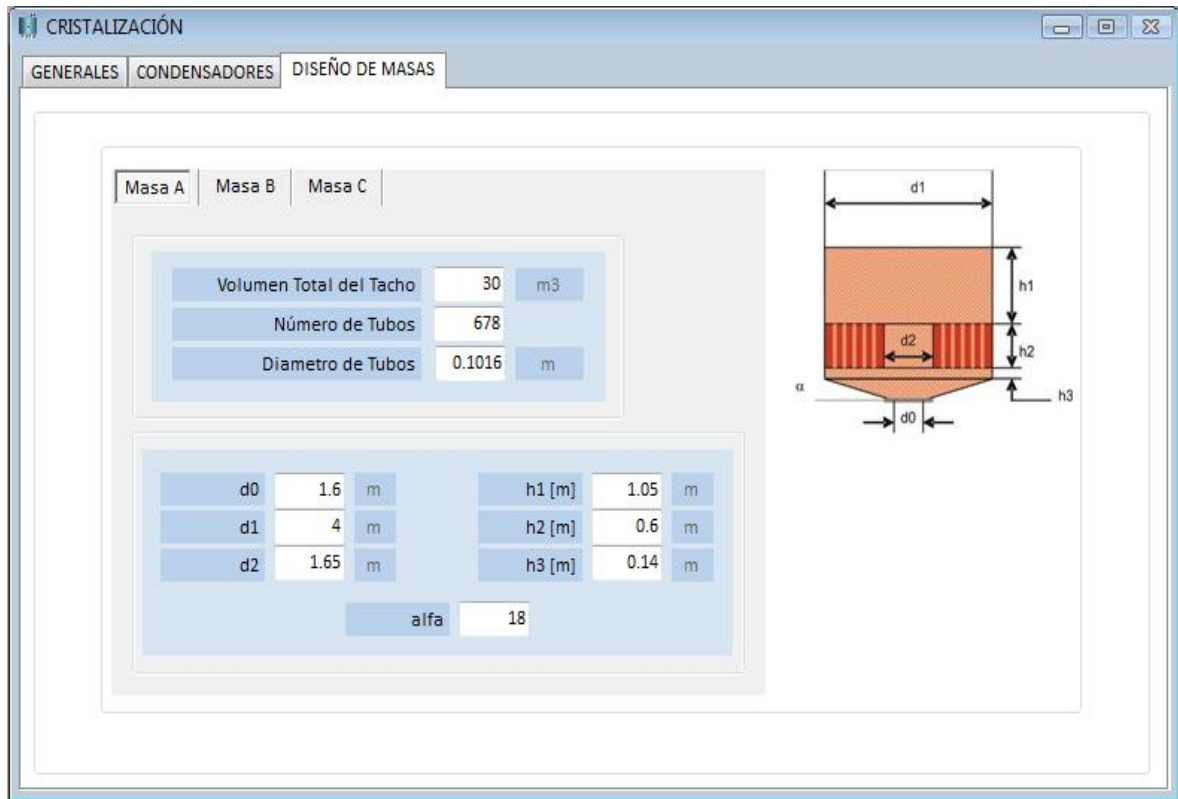
Datos de Entrada

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Clarificación de la Meladura	Datos generales	Meladura cruda, espuma, calentamiento directo, azufre y floculante.
	Torre de sulfitación	Cal y Acido fosfórico.

VENTANA DE CRISTALIZACIÓN

Descripción del proceso

El proceso de Cristalización es de una gran importancia en la producción de azúcar, durante este proceso se producirán los cristales que finalmente serán entregados al consumidor final.



Datos de Entrada

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Cristalización	Datos generales	Miel A, Miel B, Miel C, Semilla B, Semilla C, Masa A, Masa B, Masa C, Cristal Primitivo, cristal desarrollado y azúcar.
	Condensadores	Masa A, Masa B, Masa C, Cristal Primitivo y Cristal desarrollado.
	Diseño de masas	Masa A, Masa B y Masa C.

VENTANA DE SECADO

Descripción del proceso

En la etapa de Secado el azúcar húmedo que proviene de las centrifugas es llevado a secadores en los cuales se alimenta aire caliente en contracorriente con el flujo del azúcar.

En esta etapa se retira el agua que contienen los cristales hasta alcanzar valores de humedad menores del 0.05%.

The screenshot shows a software window titled "SECADO" with a "VARIABLES" tab. It contains four main input sections:

- Vapor Calefactor:** A dropdown menu set to "VV1".
- Salida de Aire:** A temperature input field set to "100" with a "°C" unit.
- Entrada de Aire:** A sub-section with three inputs: "Humedad Relativa" (90,0 %), "Temperatura" (30 °C), and "Aire Seco" (20 ton/h).
- Azúcar Seco:** A humidity input field set to "0,00617" with a "%" unit.

Datos de Entrada

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Secado	Generales	vapor calefactor, entrada de aire, salida de aire y azúcar seco

VENTANA DE SERVICIOS INDUSTRIALES (VAPOR)

Descripción del proceso

En este proceso se produce la energía térmica necesaria para las diferentes etapas del proceso y también se puede generar parte de la energía eléctrica que este demanda es posible proponer diferentes esquemas usando diferentes tipos

de calderas, turbinas y motores que permiten obtener mayores eficiencias energéticas y así satisfacer la demanda de energía térmica y eléctrica del proceso.

La generación de vapor para la producción de azúcar se lleva a cabo en calderas acua-tubulares que permiten alcanzar mayores presiones que otro tipo de calderas, esto para que puedan suplirse las necesidades del proceso.

El vapor obtenido en la caldera es llevado a turbinas, maquinas de vapor y además pasa por válvulas que permitan regular la presión del vapor antes de ser llevado a los diferentes procesos, como la preparación y molienda, calentamiento primario y secundario del jugo diluido en la etapa de purificación del jugo, evaporadores y tachos, secado del azúcar y también es usado para limpieza de equipos entre otros.

The screenshot shows a software interface for 'VAPOR' with two tabs: 'CALDERA' (selected) and 'OTROS'. The interface is divided into four main sections for data entry:

- Bagazo a calderas:**

Nitrogeno	0,00	%
Azufre	0,00	%
Cenizas	5,00	%
- Carbón:**

Carbón	0	ton/mes
Carbono	74,10	%
Hidrogeno	3,80	%
Nitrogeno	1,10	%
Azufre	2,30	%
Humedad	3,70	%
Cenizas	13,50	%
PCS	25000	kJ/kg
Caldera 1	100,00	%
- Generación de vapor:**

Temperatura Vapor	343	°C
Presión	450	psig
Generación Vapor	100,00	%
- Gases Chimenea:**

Temperatura Salida	220	°C
Inq. Hollin	16	psig
Inq. Parrilla	9,00	%

At the bottom right, there is an additional data entry panel:

Temperatura Ambiente	27	°C
Tiempo Operación	25	días
Exceso de Aire	15,00	%
TAAC Salida Desaireador	105	°C

Datos de Entrada

Etapa	Pestañas	Conjunto de Datos de ingreso
Servicios Industriales	Caldera	Bagazo a calderas, generación de vapor, el carbón y gases de la chimenea.
	Otros datos	Válvulas reductoras las turbinas y el consumo de vapor.

Ventanas de Resultados

Para cada uno de los formularios de entrada de datos existe un formulario de resultados, se almacenan los datos obtenidos tras la ejecución del simulador en tablas de resultados, graficas y por último para algunas de las etapas existe un analizador rápido de los cambios, el cual muestra una tabla y una grafica explicativa de la variación de uno de los parámetros de la simulación.

Los formularios de resultados están compuestos de la siguiente manera:

Pestañas	Descripción
Tablas de resultados	Posiblemente sea una o más pestañas en donde se muestran las tablas con los principales resultados de la simulación.
Graficas	Para una mayor comprensión de los resultados, son graficados y mostrados en forma de torta o múltiples barras, según sea más conveniente.
Análisis	Se realiza el análisis de la variación de uno de los principales datos de entrada y se grafica para mostrar los cambios. Nota: no todas los formularios de resultados los tienen el análisis.

PREPARACIÓN Y MOLIENDA

RESULTADOS TABULADOS GRÁFICAS

Molinos Jugo Diluido, Picadoras y Bagazo Final

Bagazo

Bagazo Final	
Bagazo [ton/h]	12,52
Bagazo Mes [ton]	7.514,33
Brix [%]	3,38
Pol [%]	2,1
Fibra [%]	48,24
Agua [ton/h]	48,38
Bagazo % Caña	32,96
Bagazo PCS [kJ/Kg]	9.616,18

El porcentaje de Bagazo de acuerdo a la Caña alimentada debería ser más o menos del 30 %.
El porcentaje de Humedad en el Bagazo estará normalmente entre el 45-50 %.

Jugo Diluido




Jugo Diluido	
Cantidad Jugo Diluido [ton/h]	37,56
Brix [%]	14,25

El Brix del Jugo Diluido puede estar entre 10-20 % aproximadamente dependiendo del tipo de caña.

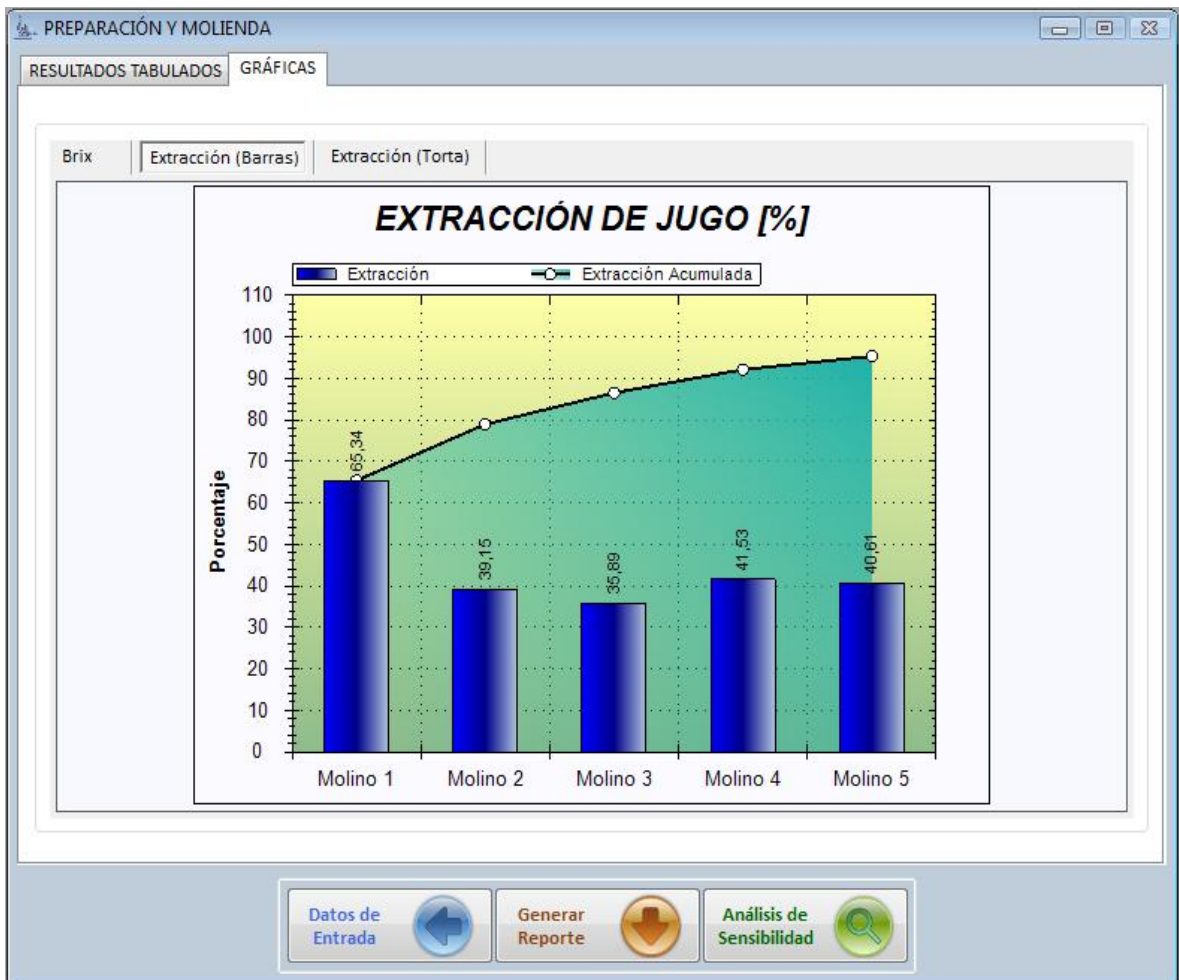
Picadoras

	Picadora 1	Picadora 2
Potencia Instalada [HP]	570	570
Potencia Consumida [HP]	236,22	288,71
HP/THF	39,1	47,78

HP / THF	Relación Potencia Consumida / Tonelada de Fibra de la caña por Hora (HP/THF)
SR	Relación Vapor Consumido / Consumo Especifico de Potencia de Acionamiento SR (Lb/KWh)
PCS	Poder Calorífico Superior

Datos de Entrada  Generar Reporte  Análisis de Sensibilidad 

Resultados Tabulados



Resultados Gráficos (Barras)



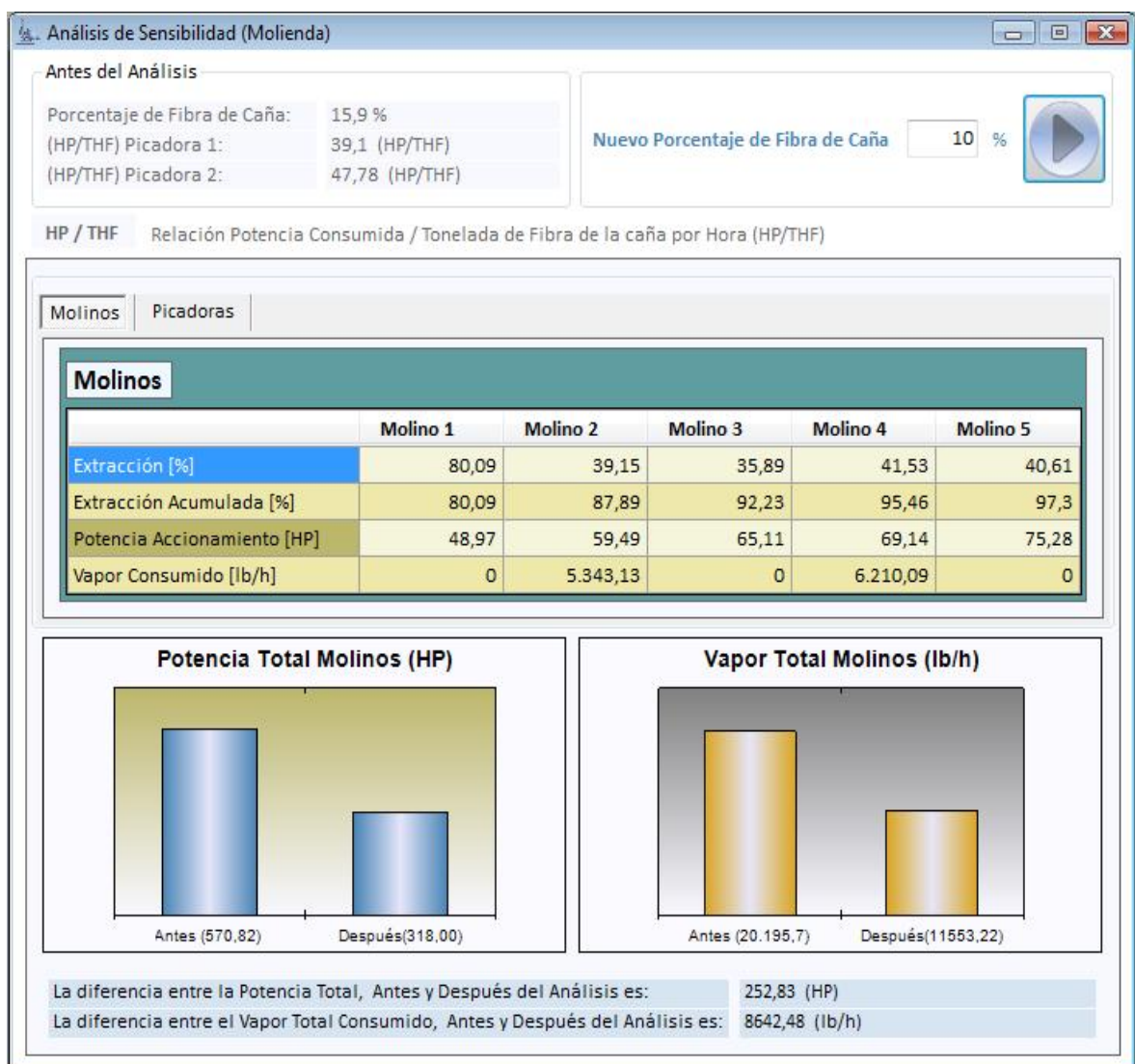
Resultados Gráficos (Torta)

Las ventanas de análisis de resultados cuentan con botones comunes, que realizan diferentes funciones, seguidamente se dará una explicación de cada uno junto a la tarea que es desempeñada por este:

Botones	Descripción
Datos de entrada	Permite regresar al formulario de datos de entrada de la etapa correspondiente
Abrir Reporte	Genera el reporte en formato PDF y lo muestra.
Análisis de Sensibilidad	Inicia un pequeño análisis.

Ventanas de Análisis de Sensibilidad

Una vez que se ingresa a esta ventana es posible realizar un estudio de sensibilidad, de uno o más de los resultados de una de las etapas, esto se logra comparando los resultados ya simulados, contra los resultados simulados con una variación en uno o más de los parámetros de entrada. Esto permite analizar cuáles son los pequeños cambios que se pueden realizar para obtener mejor rendimiento en los resultados.



Análisis de Sensibilidad

Los análisis que se pueden realizar son:

Etapas	Descripción
Preparación y Molienda	Se analiza el cambio de la Potencia Consumida para las picadoras y los molinos, y el consumo de vapor y el porcentaje de extracción.
Evaporación	Se evalúa el consumo de vapor variando el número de los efectos o las características de este.
Cristalización	Se evalúa el consumo del Vapor calefactor en cada tacho al variar los diferentes tipos de vapores.
Secado	Se busca analizar el calor requerido para el secado si se cambian las condiciones de humedad del aire, y como cambiara el consumo de vapor al cambiar el vapor calefactor.

ANEXO C MANUAL TÉCNICO

El manual técnico describe todos los requerimientos del simulador y los pasos con las indicaciones que se deben seguir para una correcta ejecución.

REQUERIMIENTOS SOFTWARE

Los requerimientos mínimos esenciales para la instalación y correcta ejecución del simulador SEPPRAZ 1.0 son:

Software

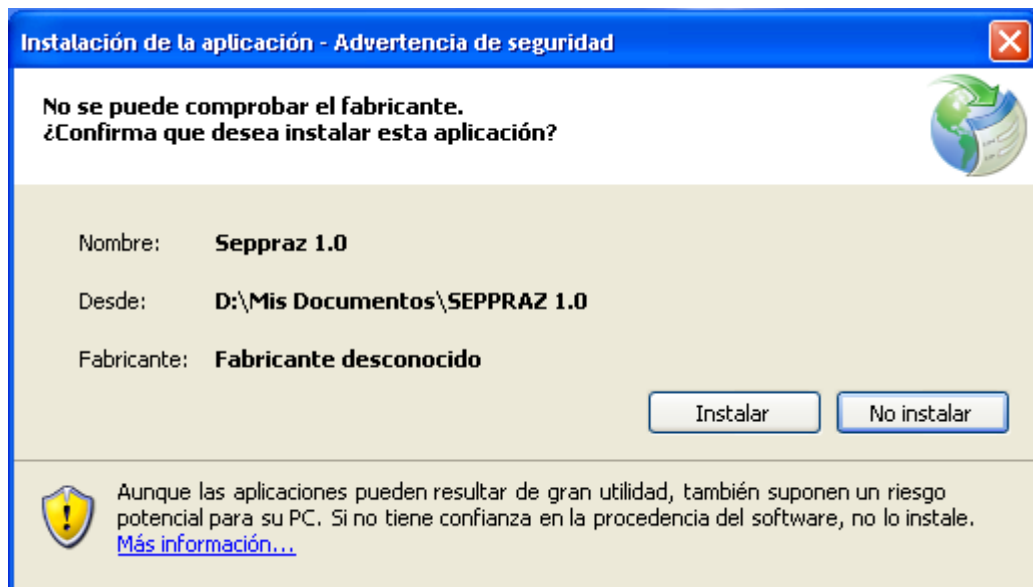
- Sistemas Operativos: Windows XP SP2 en adelante, o Windows Vista SP1.
- Software que soporte documentos en formato PDF (recomendación Foxit PDF Reader entre otros).
- Microsoft .NET Framework 3.5 (Nota: si no se encuentra instalado, se instalara desde el instalador de Seppraz 1.0).

Hardware

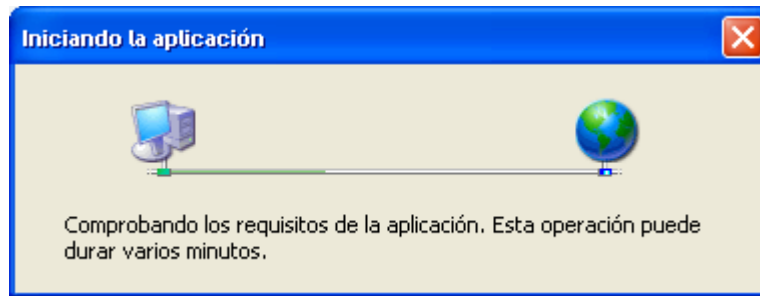
- Mínimo 512 MB de memoria RAM
- 234 MB de espacio en de disco duro para Seppraz 1.0 (Con todos los complementos necesarios).
- Optima resolución en pantalla de 1024 x 768, Calidad del color 32 bit en adelante.

PASOS PARA LA INSTALACIÓN

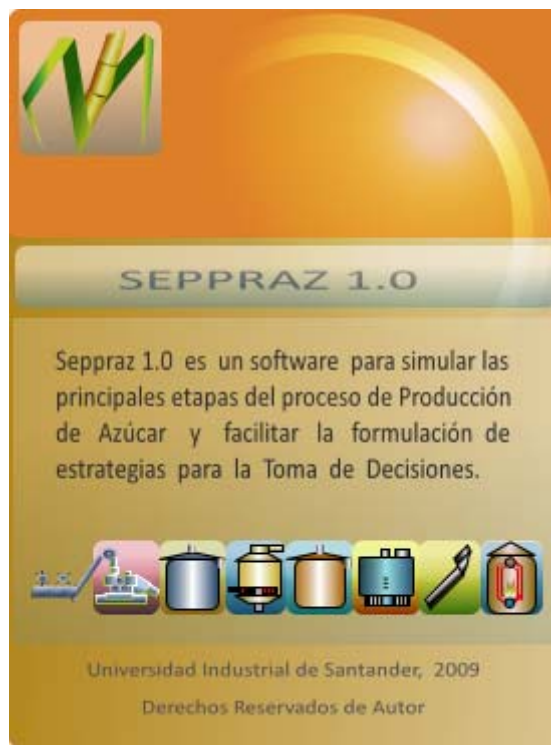
- Primero se tiene que ejecutar el programa de nombre "Setup.exe" que es el instalador del simulador, desde un CD ROW o un dispositivo de memoria extraíble en el que se encuentre almacenado este programa. Una vez ejecutado este le guiara paso a paso para la correcta instalación.





















- Después de dar Click en Instalar, se verifica que componentes requiere el computador para la instalación y se instalan las aplicaciones que el simulador requiera para su ejecución como son el Microsoft .NET FrameWork 3.5 entre otros y por ultimo instalara las aplicaciones propias del simulador como lo son las librerías PdfShare.dll y ZedGraph.dll necesarias para generar los reportes en formato PDF y las graficas respectivamente.



- Una vez el programa termina se puede iniciar la ejecución SEPPRAZ 1.0.exe

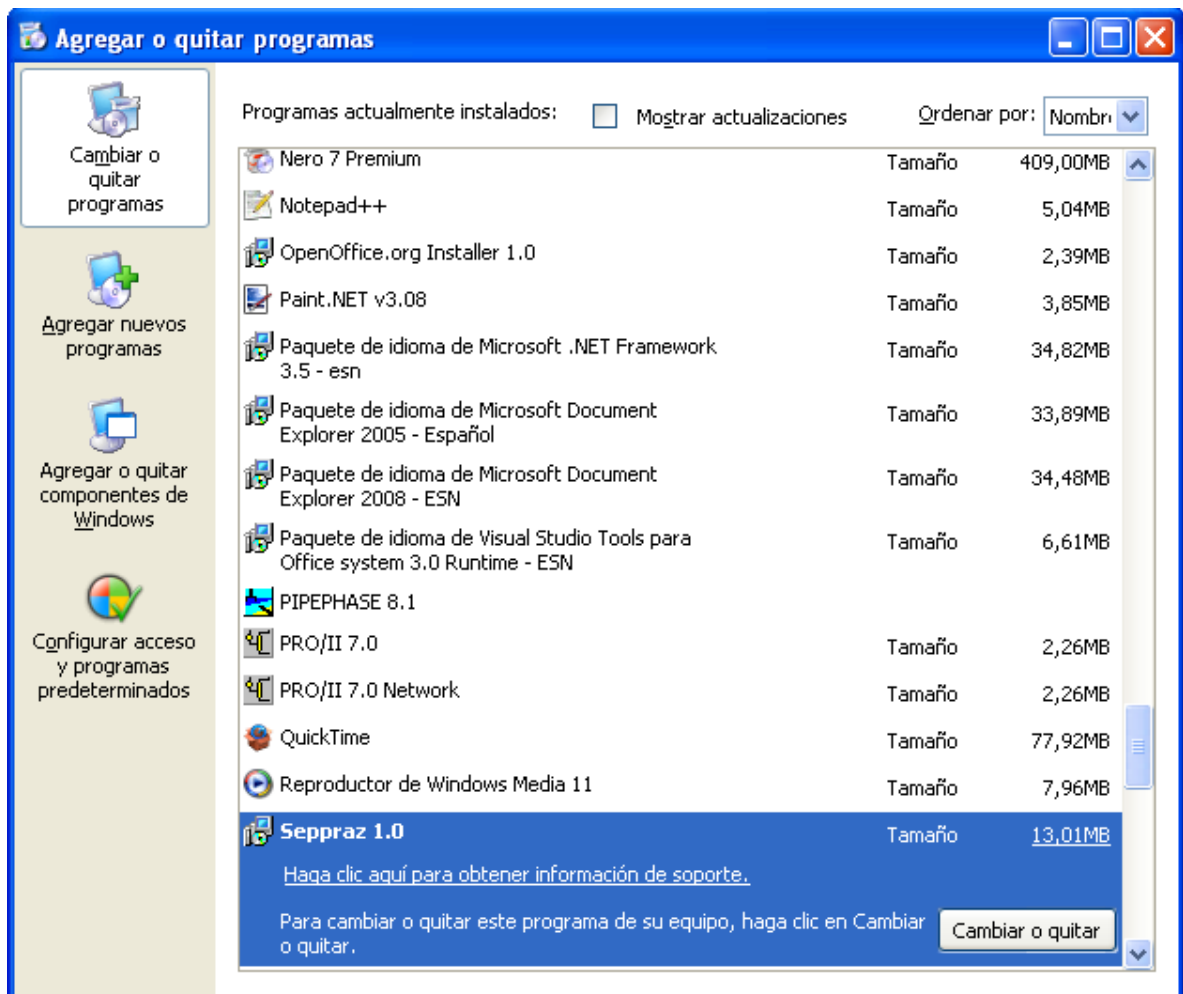


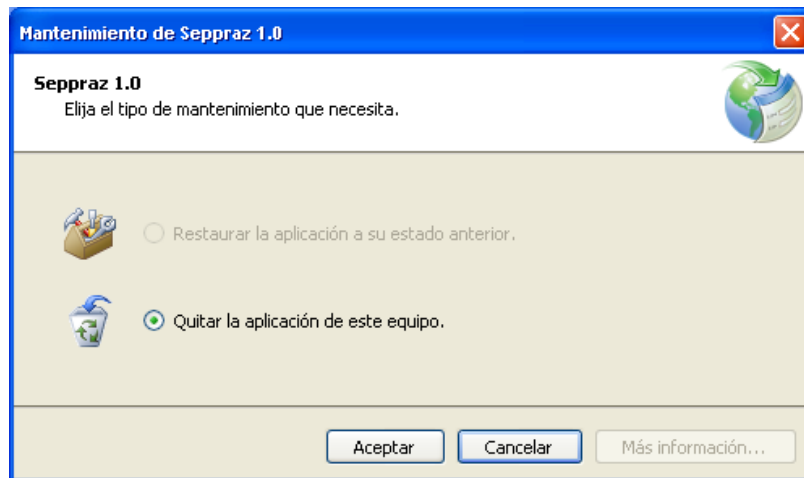
- Para mayor información puede dirigirse al documento "Manual de Usuario Seppraz 1.0.pdf".
- Una vez que se haya instalado la aplicación en el ordenador se tendrá acceso a este desde Inicio – Todos los programas – SEPPRAZ 1.0 – Seppraz1.0

 MATLAB 7.0	▶	
 Microsoft .NET Framework SDK v1.1	▶	
 Microsoft .NET Framework SDK v2.0	▶	
 Microsoft Developer Network	▶	
 Microsoft Office	▶	
 Microsoft SQL Server 2005	▶	
 Microsoft Visual Studio 2005	▶	
 Microsoft Visual Studio 2008	▶	
 Microsoft Windows SDK v6.0A	▶	
 Mozilla Firefox	▶	
 SEPPRAZ	▶	 Seppraz 1.0
 SIMSCI	▶	
 Skype	▶	
 STATISTICA 8	▶	
 TuneUp Utilities 2009	▶	
 Windows Live	▶	
 WinRAR	▶	

PASOS PARA DESINSTALAR

Para desinstalar la aplicación se tiene que dirigir a panel de control y en la opción de agregar o quitar programas, este se encontrara listados en los programas instalados previamente en el S.O. una vez seleccionado la aplicación Seppraz 1.0 se puede elegir la opción de cambiar o quitar para desinstalar la aplicación del computador.





Nota: el computador no requiere de reiniciar para ajustar los cambios de la desinstalación.