

LA SIMULACIÓN EN LA INDUSTRIA

1.1. INTRODUCCIÓN

La construcción de simuladores inicia de manera oficial desde la época del renacimiento, donde se plantearon y resolvieron los primeros sistemas de simulación, relacionados básicamente con los juegos de azar y comprobación de resultados probabilísticos. Sin embargo, el uso actual de la palabra simulación data del año 1940, cuando los científicos Von Neuman y Ulam trabajaban en el proyecto Monte Carlo (basado en la obtención de datos de la ruleta rusa en Mónaco).

Durante la segunda guerra mundial, resolvieron problemas relacionados a las reacciones nucleares en las experimentaciones de la bomba atómica, cuya solución experimental sería muy costosa y cuyo análisis matemático sería demasiado complejo.

Con la utilización de las supercomputadoras en el desarrollo de los experimentos de simulación, fueron surgiendo novedosas aplicaciones y como consecuencia de ello, una mayor cantidad de problemas teóricos y prácticos.

Los lenguajes utilizados para resolverlos no eran lo suficientemente aceptables, ya que dependían en gran cantidad a la experiencia científica de quienes lo creaban y su generalización era imposible. Se utilizaba lenguajes de máquina o assembler, con la dificultad de ser exactos en cuanto a fechas; posteriormente el avance de diseño de hardware y la aparición de lenguajes de propósito general y especiales, permitieron de algún modo generalizar en una porcentaje aceptable el uso y aplicación de los conceptos, métodos y técnicas de simulación.

Hoy por hoy, la difusión del término de simulación y de sus aplicaciones se ha extendido en un basto número de usuarios que siguen generando nuevos retos y proyectos para esta ciencia. Actualmente la interrelación de la simulación con otras técnicas, han permitido desarrollar proyectos más completos que vislumbran formidables perspectivas de transformación tecnológica.

Se ha relatado una breve síntesis de la simulación en general, pero ya enfocándonos en el área industrial se debe destacar que los primeros modelos los aplicaron en las fábricas para remplazar la mano de obra en actividades tales como anotaciones contables, escritura de informes y resolución de ecuaciones, obteniendo como ventaja la velocidad y la exactitud de sus cálculos.

El área de investigación y desarrollo encuentra este tipo de servicio provechoso, debido a que generalmente tiene diversos problemas que necesitan una gran cantidad de cálculos y tiempo rápido de respuesta con exigencias limitadas de entrada y salida.

La simulación puede lograrse si se tiene en primera instancia conocimiento del proceso implicado. El proceso puede ser físico, tal como un transportador de material, o abstracto, cuando solo comprende información.

1.2. DEFINICIÓN

A continuación mencionamos varias definiciones de la simulación, tomadas de varias fuentes.

[LIB-01] “Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real”

[LIB-02] “La simulación es un eficaz instrumento para el análisis y diseños de sistemas; permite la construcción de modelos que son una representación exacta del mundo real”

Después de listar las dos definiciones podemos determinar que la simulación no es más que la “herramienta que permite analizar, diseñar y evaluar un sistema a través de modelos que contemplen cualitativamente y cuantitativamente las entradas y salidas del sistema”.

1.3. IMPORTANCIA

La simulación cada vez se vuelve un instrumento necesario en cualquier área de trabajo es por eso hemos enmarcado su importancia en los siguientes:

- ❖ Es menos caro y más rápido que construir físicamente el sistema real.
- ❖ Descubrir errores de diseño en el modelo en lugar de hacerlo en el sistema real.
- ❖ Instrumento de estimación y pronóstico.
- ❖ En base a resultados obtenidos de la simulación podemos tomar decisiones a tiempo.
- ❖ Estrategia de planeación
- ❖ La simulación proporciona un control sobre el tiempo, debido a que es un fenómeno que se puede acelerar o retardar según se desee.

A nuestro juicio: - desde cualquier punto de vista, el incluir métodos y técnicas de simulación en un proceso, sistema, procedimiento, etc, asegura un análisis mucho más conveniente tanto en consumo de recursos físicos como de logística; además de que se consiguen resultados confiables con

un margen de error mínimo y evitando pérdidas producto de una planificación sin bases de conocimiento.

1.4. APLICACIÓN

Las áreas de aplicación de la simulación son muy amplias de las cuales vamos a citar algunas de ellas a continuación.

- ❖ Análisis del impacto ambiental causado por diversas fuentes.
- ❖ Análisis y diseño de sistemas de manufactura.
- ❖ Análisis y diseño de sistemas de comunicaciones.
- ❖ Evaluación del diseño de organismos prestadores de servicios
 - públicos (por ejemplo: hospitales, oficinas de correos, telégrafos,
 - casas de cambio, etc.).
- ❖ Análisis de sistemas de transporte terrestre, marítimo o por aire.
- ❖ Análisis de grandes equipos de cómputo.
- ❖ Análisis del departamento de producción de una fábrica.
- ❖ Adiestramiento de operadores industriales.
- ❖ Planeación para la producción en industrias alimenticias.
- ❖ Análisis financiero de sistemas económicos.
- ❖ Evaluación de sistemas tácticos o de defensa militar.

En la industria, la simulación se aplica en varias etapas, por ejemplo: en la etapa de diseño para ayudar con el mejoramiento de un proceso o diseño, o a su vez a un sistema ya existente para explorar algunas modificaciones. Es recomendable la aplicación de la simulación a sistemas ya existentes cuando existe algún problema de operación o bien cuando se requiere llevar a cabo una mejora en el comportamiento. El efecto que sobre el sistema ocurre cuando se cambia alguno de sus componentes se puede examinar

antes de que ocurra el cambio físico en la planta para asegurar que el problema de operación se soluciona o bien para determinar el medio más económico para lograr la mejora deseada.

1.5. FASES DE LA SIMULACIÓN

En la figura # 1.1, se visualiza las fases o etapas de simulación, donde se resaltan las interacciones entre los procesos principales: Desarrollo del Modelo, Ejecución del Modelo y Análisis de salida del modelo[WEB-01].

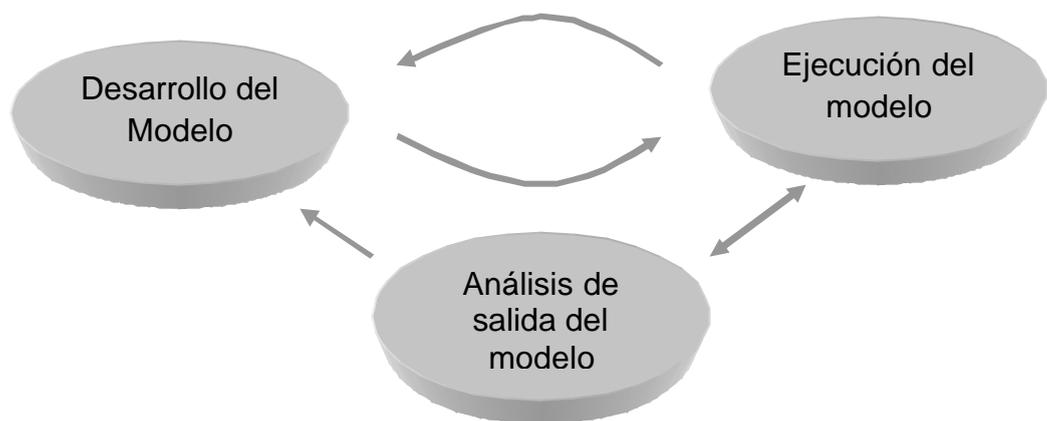


Figura # 1.1: Fases de la Simulación

Desarrollo del Modelo

El desarrollo del modelo permite formular el problema, definir el sistema simulador, formular modelos de simulación y trasladar al modelo a computadora.

Ejecución del modelo

La ejecución de los modelos contempla la Validación, Verificación y Experimentación

Análisis de Salida del Modelo

Este paso permite la Implementación y Documentación de la simulación

Más adelante se hará mención a este grupo de procedimientos y fases de simulación, que se explicarán con mayor fundamento y profundidad basados en el caso práctico que estamos analizando.

1.6. EVENTOS ALEATORIOS.

Un aspecto fundamental durante todo el proceso de Simulación, es sin duda la aplicación de técnicas para resolver o ayudar a resolver pequeños factores de incertidumbre que se generan habitualmente; por esta razón es necesario el estudio de este tipo de métodos o técnicas.

Aleatoriedad

Todos los lenguajes de computadora usados para desarrollar simulaciones tienen una capacidad incluida de generar una serie de números aleatorios entre 0 y 1 en la que se cumple lo siguiente:

1. El enfoque se basa en métodos numéricos.
2. La serie específica depende de un valor inicial proporcionado por el usuario llamado semilla. Para una semilla particular, la serie está determinada. Cada vez que se usa esa misma semilla se genera la misma serie de números aleatorios.

3. Los números generados satisfacen las siguientes propiedades:

- a) Están uniformemente distribuidos entre 0 y 1; y
- b) Los números sucesivos son estadísticamente independientes entre si.

Para nuestro estudio, si se presentase este tipo de factores de incertidumbre, nos limitaremos al uso de este concepto de acuerdo al planteamiento del lenguaje o herramienta que utilizáramos.

Además, el uso de conceptos estadísticos está íntimamente relacionado al campo de estudio de la simulación; a partir de fundamentos estadísticos se van estableciendo condiciones y conceptos a utilizar en la resolución de problemas del tipo probabilidad y pronóstico con los que se identifica un modelo de simulación típico.

1.7. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS

Existen diferentes tipos y métodos estadísticos que coadyuvan al establecimiento de resultados durante un proceso de simulación. [WEB-2] Para el estudio en mención solo citaremos los siguientes:

Medidas de centralización.- Que representan a toda la distribución. Los más importantes son la media aritmética, la mediana y la moda.

La media aritmética .- Se llama así a la suma de todos los valores dividida por el número total de los mismos. Para una tabla de frecuencias en la que a cada valor de la variable x_i , le corresponda una frecuencia absoluta f , la media que se representa por X , se calcula así:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{N}$$

Medidas de dispersión.- Que indican si los valores están agrupados o dispersos. Los más importantes son la varianza y la desviación típica.

Varianza.- Se define la varianza de una distribución de frecuencias al número obtenido de la siguiente expresión:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{N}$$

A la raíz cuadrada de la varianza se la denomina desviación típica, o sea:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{N}}$$

Prueba T de Student

La prueba de t Student, es un método de análisis estadístico, que compara las medias de dos categorías dentro de una variable dependiente, o las medias de dos grupos diferentes. Es una prueba paramétrica, o sea que solo sirve para comparar variables numéricas de distribución normal.

La prueba t Student, arroja el valor del estadístico t. Según sea el valor de t, corresponderá un valor de significación estadística determinado.

En definitiva la prueba de t Student contrasta la HP Nula de que la media de la variable numérica "y", no tiene diferencias para cada grupo de la variable categórica "x".

La prueba t para muestras independientes se utiliza para comparar la media de dos grupos o dos categorías dentro de una misma variable dependiente.

1.8. RELACIÓN DE LA SIMULACIÓN Y LA INFORMÁTICA

A partir del profundo estudio de los fundamentos de la computación y de la necesidad de agrupar procesos manuales en automáticos, se generan, nuevos ámbitos de estudio en la rama de las ciencias exactas y de la información.

Es así, que se facilitan por medio del empleo de la informática, el estudio de la recreación de eventos y sucesos reales en espacios abstractos y reducidos. El avance en el estudio de los lenguajes de programación, de sistemas operativos, progresos significativos en la implementación de hardware; han permitido catapultar la resolución de problemas del tipo “pronóstico” y afianzar el planteamiento de sistemas de simulación en varios ámbitos de las ciencias.

Hace poco tiempo, para el estudio de fenómenos naturales, era preciso emplear mucho tiempo de análisis y cálculos que se cargaban en programas o algoritmos de “liberación de iteraciones” desarrollados específicamente para un evento particular, no llegando a comercializarse este tipo de software debido al grado de especificidad que se manejaba. Además, se emplearon verdaderos “cuartos” de hardware, en los que se mantenían cientos de procesadores y equipos de computación.

Hoy por hoy, el avance de la tecnología informática permite desarrollar mayor cantidad de software para el manejo de simulaciones, extendiéndose el tema de aplicación a todas las áreas que lo necesitan; las fábricas, las

matemáticas, entrenamiento, medicina, arquitectura, agronomía – siendo una pequeña parte del amplio campo que mencionamos.

Cada proyecto de simulación mantiene una estrecha relación con los fundamentos de algunas ciencias que forman parte de la informática. Si nos referimos al grupo de expertos y personal de apoyo que intervienen en el desarrollo e implementación de un sistema de simulación, hacemos relación a profesionales que dependiendo del sistema que se desarrolla, interactúan entre sí buscando plantear un modelo de resolución apegado a las características reales y manteniendo un margen de error aceptable.

Es aquí, cuando el director de proyecto: una profesional informático, aplica conceptos y fundamentos de ciencias informáticas en las fases de recopilación y adquisición de información, almacenamiento de información, planteamiento de algoritmos, análisis y desarrollo de sistemas, etc.

No se puede afirmar de forma ortodoxa que exista una relación directa entre la simulación y la informática; pero si que a partir de la segunda, la primera se afianzó y que actualmente utiliza como herramientas de apoyo algunas de las ciencias que forman parte de la informática actual.

1.9. LA SIMULACIÓN Y SU EFECTO EN LA INDUSTRIA

Para una compañía industrial, el invertir en el desarrollo e implementación de un sistema de simulación es sumamente beneficioso, ya que los efectos que se generan, permiten manejar el espacio global de la fábrica dentro de un ambiente permisible a modificaciones y cambios, y sin incurrir en gastos cuantiosos de dinero y de tiempo.

Debido a que el objeto de estudio se centra en el estudio de la Simulación con énfasis en la aplicación de técnicas de Computer Aided Engineering, se

mencionan algunos campos de aplicación en los que este tipo de sistemas son beneficiosos:

En el entrenamiento

Utilizando el simulador aplicado como un sistema CAE en una planta de producción y ejecutándolo en modo offline (fuera de línea), es posible utilizarlo como una herramienta de entrenamiento para el personal involucrado en la supervisión e inspección del proceso productivo.

En el diseño

Debido a la funcionalidad de una aplicación de este tipo, es factible, a partir de ensayos de información de producción, proyectar el diseño de nuevos equipos y maquinaria en una unidad operativa de proceso.

En la planificación de cambios y en la búsqueda de problemas

Mediante el análisis de información de cada unidad de proceso es posible, identificar probables problemas de diseño e inclusive planificar cambios para solucionarlos.

En el control y pronosticación de la producción

Al mantenerse un modelo que solucione el proceso de producción, es posible a partir del manejo de variables, constantes y particularidades del ciclo de producción, proyectar los volúmenes de producción y de pérdidas en un periodo establecido.

En la toma de decisiones

Con un banco de información generada a través de la experimentación y apoyada en corridas del sistema con datos reales, es posible, proporcionar a la dirección de una herramienta confiable para la toma de decisiones empresariales.

1.10. MODELOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Los modelos de simulación sirven como herramientas, capaces de reproducir (imitar) el comportamiento del sistema simulado con detalles esenciales y representativos, estos deben ser construidos con dependencia a la realidad del sistema u objeto, la correspondencia entre el objeto real y el modelo debe ser reversible, capaz de traducir la conducta del modelo a la realidad empírica.

Para construir un modelo es necesario una eficiente selección de factores que intervienen directamente en el comportamiento del objeto y una descripción adecuada de las relaciones funcionales, tomando en cuenta que debe ser subjetivo a la realidad.

La calidad de las respuestas de los factores y relaciones funcionales de un modelo deben ser sometidas a una verificación experimental, que; aunque sea sencilla, servirá para identificar el grado de error producido por el modelo y además corregir los puntos erróneos del modelo construido.

[WEB-03] Dado que el modelo representa la realidad con una cantidad menor de información, se presenta un error inherente al proceso de modelización que puede ser reducido, pero no eliminado, esta reducción se puede realizar por dos rutas complementarias.

- ✓ Mayor precisión en la medida y mejor selección de los componentes: no implica mayor complejidad del modelo.
- ✓ Mayor cantidad de componentes, partes e interrelaciones funcionales: implica una mayor complejidad del modelo.

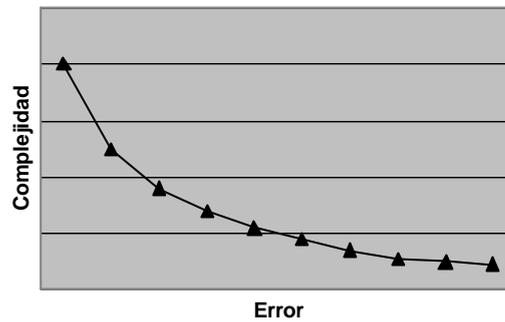


Gráfico # 1.1. La relación entre error y complejidad.

En la gráfica # 1.1 podemos determinar que si tratamos de reducir demasiado el grado de error, el modelo se vuelve demasiado complejo y mientras menos complejo lo hagamos el modelo, el error se vuelve muy grande, es por eso, que se debe encontrar un punto medio.

Después de este análisis es necesario que se defina lo que es modelo, para ello, se ha tomado tres definiciones tales como[WEB-04]:

“Un modelo es simplemente una representación de la esencia de un sistema”.

“Una representación simplificada de la realidad en la que aparece alguna de sus propiedades”.

“Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad”.

Después de listar estas definiciones, se puede concluir que un modelo es: “Un instrumento de investigación que simboliza las propiedades esenciales de un sistema u objeto, para escenificar, describir y analizar de manera más comprensible y sencilla a la realidad del problema”.

Para que un modelo de simulación logre satisfacer esta definición se debe tomar en cuenta como esta construido, cual es su funcionamiento y los elementos que intervienen.

1.10.1. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

Para la construcción del modelo tenemos lo siguiente:

- El modelo de simulación deberá hacerse tan sencillo como sea posible, de esta forma es mayor la comprensión del modelo y sus resultados, disminuyendo el coste de desarrollo, depurado y mantenimiento del código de programación, así como, el tiempo requerido para su ejecución.
- Al realizar el modelo de simulación conviene disponer de la máxima información posible acerca del sistema. Puede ser útil conversar con los expertos que conocen el sistema, examinar las teorías existentes acerca del mismo, a fin de no reinventar lo que ya sea a comprobado, realizar observaciones experimentales.
- Si el modelo de simulación se divide en submodelos, deben modelarse todos con un nivel similar de complejidad.
- Durante la construcción del modelo puede invitarse especialistas en el sistema, para que examinen datos de salida procedentes unos del modelo y otros del sistema real, y que intenten sin conocer la respuesta, identificar cuales provienen del modelo y cuales del sistema.

Después de haber listado los anteriores consideraciones, podemos enumerar los pasos para su construcción como se puede observar en la figura # 1.2:

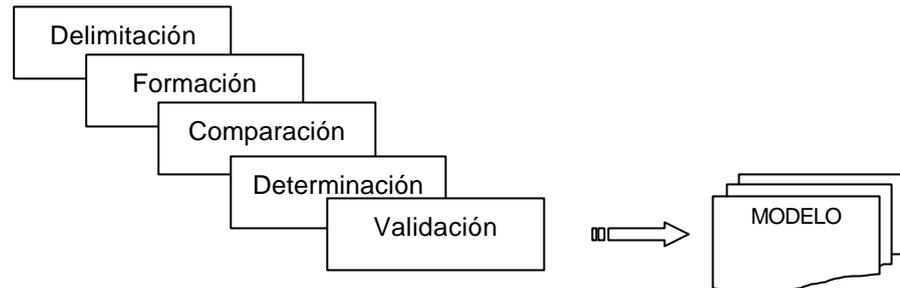


Figura # 1.2. : Pasos para la construcción del modelo

Delimitación.- Determinación de los límites, fronteras y restricciones del sistema que se usarán ante su medio de estudio.

Formación:- Se debe realizar un diagrama de flujo para encontrar los parámetros o variables participantes.

Comparación.- Como no todas las magnitudes y relaciones pueden caber en la abstracción o modelo, se debe realizar una selección de aquellas magnitudes y relaciones que el observador considere esenciales.

Determinación.- Determinar el modelo de simulación que se acople a nuestras necesidades.

Validación. Comprueba la correspondencia entre el desempeño del modelo y el desempeño del sistema real

1.10.2. FUNCIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.

[LIB-03] Los modelos de simulación poseen las siguientes funciones:

Una ayuda para el entendimiento y pensamiento.

Los modelos pueden ayudarnos a organizar y clasificar conceptos confusos e inconsistentes, obligan a pensar sobre que pasos son necesarios y su secuencia, este modelo muestra la interrelación y logros que se necesitan

obtener, los tiempos de duración y recursos que se requieren, etc. El hecho de tratar de representar nuestras ideas y pensamiento de otra manera a menudo indica las inconsistencias y ambigüedades.

Una ayuda para la comunicación.

Los modelos bien elaborados ayudan a que la estructura general sea más comprensible y revele relaciones de causa y efecto muy importantes.

Para entrenamiento e instrucción.

A menudo los modelos son ideales para entrenar a una persona para que afronte varias eventualidades antes de que ocurran.

Una herramienta de predicción.

Uno de los usos más importantes de los modelos, es la predicción de las características del comportamiento de las entidades modeladas.

Una ayuda para la experimentación.

Consiste en la variación de ciertos parámetros del mismo, mientras otros se mantienen constantes y se observan los resultados.

1.10.3. ELEMENTOS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

[LIB-04] Los modelos de simulación se conforman de la combinación de los siguientes elementos:

- Componentes
- Variables
- Parámetros
- Relaciones Funcionales
- Restricciones

Componentes.- Son las partes o subsistemas que conforman o constituyen un sistema.

Variables.- Son valores que están sujetos a la estructura de la función; existen variables endógenas y exógenas. Las variables endógenas, son aquellas producidas dentro del sistema que revelan su estado y su condición, es decir, a estas variables se les puede considerar como variables de salida o dependientes, en cambio las variables exógenas se originan fuera del sistema, poniéndose en contacto con agentes externos, es decir, son variables de entrada o independientes.

Parámetros.- Están asociados al concepto de constante matemática, por lo tanto, no cambian su valor en una corrida de simulación, pero pueden ser modificados por el operador de una corrida a otra.

Relaciones Funcionales.- Mediante ecuaciones matemáticas podemos relacionar las variables con los parámetros, para mostrar su comportamiento dentro de un componente o entre componentes.

Restricciones.- Son las limitaciones que pueden ser:

- ❖ **Naturales.-** Son las que físicamente no pueden violarse, es decir, se debe a las leyes inalterables de la naturaleza.
- ❖ **Auto impuestas.-** Limitaciones que se impone el hombre, para acotar el estudio incluyendo las hipótesis.

1.10.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

Los modelos de simulación según autores tienen un sinnúmero de clasificaciones, pero, para nuestro estudio los hemos dividido en los siguientes:

- ❖ Físicos
- ❖ Analógicos
- ❖ Matemáticos

Modelos Físicos.

Los modelos físicos se caracterizan por ser la representación física de un objeto real a escala o idealizado, estos modelos se construyen en estados de tiempo estáticos, pero con propiedades idénticas al objeto. Otra característica de estos modelos es el manejo de dimensiones, es decir; podemos manejar dos dimensiones para la representación del objeto entre estas tenemos, fotografías, planos, mapas, etc. También se puede manejar objetos en tres dimensiones o generalmente llamados modelos a escala, como por ejemplo las maquetas, automóviles, aviones, etc.

Cuando los objetos sobrepasan las tres dimensiones como se presentan en muchos problemas de investigación de operaciones y simulación ya no se pueden representar físicamente y por lo tanto pasan a pertenecer a otro tipo de modelos llamados analógicos o matemáticos.

Modelos Analógicos.

Los modelos analógicos permiten describir situaciones dinámicas de un sistema o proceso valiéndose de sus características propias, para su representación puede valerse de diagramas de flujo, curvas de demanda, etc. Estos modelos pueden describir varios procesos del mismo tipo, lo que los modelos físicos en cambio no podrían describir de manera eficiente.

Cuando se trabaja con propiedades analógicas en un sistema podemos incrementar la capacidad de hacer cambios, para mostrar el comportamiento del objeto o sistema.

Modelos Matemáticos.

Los modelos matemáticos son esenciales para modelar procesos utilizan cifras, símbolos y ecuaciones matemáticas para representar a la realidad del sistema u objeto. Los símbolos o ecuaciones deben ser concisos y fáciles de comprender y lo más importante deben estar sujetos al proceso del sistema a representar. Estos modelos pueden manipularse a través de un lenguaje de programación de propósito general o particular con la utilización de un computador como herramienta.

A los modelos matemáticos también lo podemos ver de dos formas diferentes, cuantitativos y cualitativos. Cuando representamos un sistema por medio de un modelo matemático y aplicamos para su representación variables y constantes en cantidad considerable se lo denomina modelos cuantitativos, en cambio cuando no se puede cuantificar exactamente por alguno de los siguientes motivos: necesidad de muchas variables, algunas variables desconocidas, relaciones demasiadas complejas para expresar en forma cuantitativa, etc; se recurre a establecer las cualidades de los componentes por medio del análisis lógico, investigación de operaciones,

análisis de decisiones para poder obtener valores que representen al sistema, a este proceso se lo denomina modelo cualitativo.

Para la formulación de los modelos matemáticos se debe considerar la especificación de los componentes, variables, parámetros y las relaciones funcionales, es decir; debemos saber cuantas variables deben conformar el modelo, además que las descripciones o predicciones del modelo matemático produzcan valores exactos referentes a la conducta de un sistema dado reduciendo el tiempo de computación y programación al mismo tiempo.

1.11. ESTIMACIONES Y PRONÓSTICOS

1.11.1. ESTIMACIONES

Las estimaciones se realizan con la información disponible en cada momento. No obstante, con posterioridad pueden darse cambios en las circunstancias que determinaron la estimación al disponer de mayor información o tener mayor experiencia, en estos casos, deben modificarse las estimaciones iniciales, para obtener información actualizada del objeto.

Hay que tomar en cuenta que, cuando realizamos un cambio en la vida útil es un cambio en una estimación, además afecta a los parámetros que se toma como base para cualquier situación de la simulación.

Los cambios en estimaciones se deben a cambios en las circunstancias que determinaron dicha estimación, o bien al conocimiento de mayor información, paso del tiempo o aparición de nuevos hechos, y que hacen necesario revisar la estimación que en su momento se hizo. En consecuencia, el cambio en la estimación no debe considerarse como un hecho que dé lugar a un resultado extraordinario.

Para realizar estimaciones de circunstancias, procesos, etc: se debe tomar en cuenta las siguientes generalidades [WEB-05].

Tener una idea clara del trabajo que será estimado

Existe problemas cuando la persona a cargo de la estimación no ha considerado la magnitud del trabajo a desarrollarse. Se debe evitar estimar el trabajo que no se conoce. La estimación de contingencia (La contingencia es usada para reflejar la incertidumbre o el riesgo asociado a una estimación), es una forma de reflejar en el plan de trabajo esta incertidumbre.

Determinar quien debe involucrarse en el proceso de estimación

Para realizar una estimación se debe involucrar a los miembros del grupo, clientes, expertos en el tema, etc. Esto tendrá como resultado un mayor nivel de certeza.

Determinar si hay alguna restricción para las estimaciones

Cuando están involucradas varias personas en el proceso de la estimación se puede definir los parámetros que no se deben tomar en cuenta por factores de cambios o inestabilidad para las estimaciones.

Usar técnicas múltiples de estimación de ser posible

Cuando se está listo para hacer una estimación, debe tomarse en cuenta que existen diversas técnicas que pueden usarse. De ser posible, se debe tratar de usar al menos dos técnicas para realizar las estimaciones. Si las estimaciones resultantes de diversas técnicas son muy cercanas, en general habrá más confianza respecto a los números. Si las estimaciones son lejanas, se deben revisar los supuestos de modo que sean los mismos. También se puede usar una tercer (y cuarta) técnica de estimación para averiguar si una de las anteriores puede ser validada y la otra rechazada

1.11.1.1. PROCESO DE ESTIMACIÓN

El proceso de estimación contempla lo siguiente:

Precisión de la estimación.

Típicamente, entre mayor precisión se requiera se necesita mayor nivel de detalle, y probablemente se necesite mayor tiempo. Si se solicita una estimación de orden de magnitud grande, se puede concluir rápidamente este trabajo, en un nivel muy alto y con el mínimo de detalle. Por otra parte, si se debe proporcionar una estimación precisa, seguramente se necesitará mayor cantidad de tiempo para entender el trabajo a un nivel de detalle mayor.

Crear la estimación inicial.

La estimación inicial debe sujetarse a pruebas experimentales realizadas al sistema u objeto real.

Recursos

Se debe tomar en cuenta los parámetros que participan directamente en el sistema u objeto, es decir, los que varían el sistema con cualquier tipo de modificación.

Tiempo.

El tiempo a considerar, debe someterse a cada uno de los módulos o submodelos del sistema y ajustarse en periodos de tiempo. Además se considera los tiempos muertos como nulo.

Agregar contingencia

La contingencia es usada para reflejar la incertidumbre o el riesgo asociado a una estimación. Si la estimación fue requerida con poco tiempo de anticipación, la contingencia tendrá que ser mayor. Aun cuando existe tiempo para realizar estimaciones razonablemente precisas, la contingencia puede estar en un rango del 20 al 25%. El no agregar contingencia significa, que se está 100% seguro de las estimaciones. Este puede ser el caso si se han desarrollado con anterioridad diversos proyectos similares.

Revisar y ajustar

Se debe regresar y revisar las estimaciones, ajustándolas de modo que reflejen con mayor fidelidad la realidad. También se debe revisar si el modelo de estimación es consistente y razonable.

Documentación de los supuestos

Es muy importante documentar todos los supuestos que se están haciendo al realizar las estimaciones.

1.11.2. PRONÓSTICOS

Para iniciar con una breve explicación de pronósticos, vamos a dar paso a su definición.

Pronóstico es [WEB-06] “obtener conocimientos sobre eventos inciertos que son importantes en la toma de decisiones presentes”.

Los pronósticos se pueden iniciar en base a otros pronósticos relevantes, supuestos sobre el curso futuro de actividades en cualquier área, su valor no es exclusivamente su precisión, sino, el hecho de que para hacerlo se requiere una consideración equilibrada de factores que influyen en

acontecimientos futuros, acertados o erróneos, es decir, se lo considera más un arte que una ciencia.

La pronosticación requiere una mezcla experta de la teoría económica, conocimientos estadísticos importantes y perfecta familiaridad con los datos estadísticos relevantes. El pronosticador debe utilizar información cuantitativa y cualitativa, además, poseer la capacidad para distinguir entre nuevos hechos que son importantes y los que no lo son.

Por ejemplo; se puede utilizar la pronosticación en mercadotecnia para saber el tamaño del mercado, participación en el mercado, tendencias de precios y desarrollo de nuevos productos; en Producción, conocer el costo de materia prima, costo de mano de obra, disponibilidades, requerimientos y capacidad; en Planeación estratégica, advertir factores económicos, cambios de precios, costos y crecimiento de líneas de productos; etc.

1.11.2.1. TÉCNICAS DE PRONOSTICACIÓN.

Las técnicas de pronósticos disminuyen la incertidumbre sobre el futuro, permitiendo estructurar planes y acciones congruentes con los objetivos de la organización y permiten también tomar acciones correctivas apropiadas y a tiempo cuando ocurren situaciones fuera de los pronosticados.

[LIB-06] El conocimiento de las técnicas de pronósticos es de poco valor a menos que puedan aplicarse efectivamente en el proceso de planeación de la organización, entre estas técnicas tenemos:

Método Ingenuo.

Carece de una rígida base teórica, frecuentemente usado como método sencillo, pero no necesariamente inútil, de suponer que las cosas no cambiarán usando esta técnica, se hacen planes en supuesto de que, en lo que se refiere a hechos particulares, el futuro se parecerá al presente. Este tipo de pronóstico resulta más dudoso a medida que se alarga el periodo de pronosticar.

Método barométrico.

Implica que patrones históricos pasados tienden a repetirse en el futuro y acariciar la idea de que este puede ser predicho partiendo de ciertos acontecimientos del presente, así el comportamiento estadístico pasado que parece asociarse regularmente con fluctuaciones en series particulares o condiciones comerciales generales es descubierto y usado como base para la pronosticación.

Método Analítico.

Supone un análisis detallado de fuerzas causales que operan corrientemente sobre la variable que ha de predecirse. Relaciones de causa y efecto reveladas por el análisis de datos corrientes se usan para juzgar el curso futuro de las fuerzas causales y sus efectos en el comportamiento futuro de la variable que se predice. En realidad a menudo se usan patrones históricos para estimar las constantes contenidas en los modelos matemáticos. Aunque el método analítico puede ser usado para pronosticar la actividad de una empresa o una industria.

1.12. CASOS PRÁCTICOS DE LA SIMULACIÓN EN LA INDUSTRIA.

La simulación puede intervenir en cualquiera de las fases del ciclo de vida del sistema, tanto en la concepción del mismo, como en su diseño preliminar, construcción, utilización y mantenimiento, para poder evaluar escenarios alternativos y encontrar respuestas a preguntas del tipo “que pasaría si”, pudiendo así formar parte del estudio de cualquiera de las fases de un proyecto industrial

Los modelos necesarios para la realización de los experimentos de simulación no se utilizan exclusivamente para predecir el comportamiento de sistemas reales, sino que pueden ser empleados en otro tipo de tareas, algunas de estas tareas son las siguientes:

Diagnosis.

El modelo se emplea como representación profunda del sistema, sobre el que es posible determinar las causas que generan una desviación respecto a un comportamiento teórico. En este tipo de aplicaciones es donde los modelos funcionales son especialmente importantes, dado que modelan directamente las funciones del sistema.

Control basado en modelos.

El modelo se emplea para determinar las posibles acciones a realizar sobre el sistema que conducirían al mismo a una determinada situación. Los modelos causales son especialmente importantes para ello, dado que representan los mecanismos de propagación de efectos en el sistema modelado.

Optimización.

El modelo se emplea para determinar situaciones del proceso en las que se logra una mejoría del rendimiento.

Enseñanza.

El modelo se utiliza para que una persona estudie el comportamiento del sistema al que modela. Este tipo de sistemas se han empleado en varias circunstancias.

La simulación cumple un rol muy importante en la Industria, ya que permite probar distintas alternativas para llegar a un fin exitoso, gracias a la ayuda de sistemas industriales se ha podido identificar los cuellos de botella, ajustar la producción a los parámetros esenciales y tomar decisiones correctivas ante la situación que lo amerite. Por tal motivo se explicará algunos ejemplos que encierren esta noción.

SIMULANDO UN ENTORNO DE PROCESOS.

[WEB-7] Uno de los propósitos de los modelos de simulación de procesos es la de identificar posibles mejoras en los procesos. El objetivo del análisis de proceso es primeramente el mejorar la comprensión (entendimiento) de los procesos, especialmente su estructura y su comportamiento dinámico. Un segundo objetivo es el de identificar opciones de mejoras de los procesos. Para ambos, la simulación sirve como un método apropiado porque nos permite experimentar con modelos de procesos en vez de procesos del mundo real realizando de diferentes formas. Se centran sobre los requisitos de simulación y parámetros necesarios para chequear las condiciones de consistencia de los interfaces de procesos y analizar los aspectos de comunicación de un software de un entorno de procesos dado.

Para alcanzar los objetivos mencionados con anterioridad, se define un lenguaje de paisaje de procesos, consistente en un conjunto de modelos de procesos distribuidos para el desarrollo de aplicaciones de comercio electrónico.

SISTEMA DE APOYO PARA DECISIONES DE TRANSFERENCIA DE AGROTECNOLOGÍA (DSSAT).

Este sistema permite que los usuarios puedan [REV-01]

- Acceder, organizar y almacenar datos sobre cultivos, suelos, clima y precios;
- Retraer, analizar y desplegar datos.
- Validar y Calibrar modelos de crecimiento de los cultivos.
- Evaluar diferentes estrategias de producción en un lugar dado o dentro de una región.
- Analizar el riego asociado a la variabilidad del clima.

Actualmente, el DSSAT incluye modelos de cultivos para simular el crecimiento de 16 cultivos, entre otros fréjol, soja, arroz, trigo, papa, yuca y caña de azúcar.

SIMULACIÓN DE UNA PLANTA GEOTERMoelectRICA.

[WEB-08] El uso de simuladores réplica en tiempo real para entrenamiento de operadores de centrales de potencia sigue siendo la mejor forma de capacitar al personal de operación de las centrales de potencia.

La principal característica de un simulador de alcance total es que cualquier maniobra (con su consiguiente respuesta) que el operador pueda realizar en la planta real, debe ser reproducible en el simulador, esto incluye la operación en estado estacionario (no varía con el tiempo) y los estado transitorio (varía con el tiempo) de la central. Además con el fin de completar las funciones de entrenamiento del simulador, se define un conjunto de fallas que puedan tener ocurrencia en la planta real, ejemplos de ellas son: atoramiento de válvulas de control, disparo de motores eléctricos, falla de controladores, disparo de buses eléctricos, rechazos de carga y de generación.

Para efectos del simulador, la planta se divide en 8 modelos de proceso (aceite de lubricación, condensado, agua de enfriamiento, vapor de sellos, extracción de gases, generador eléctrico, red eléctrica y turbinas) y dos de control lógico y analógico, que corresponden a los procesos citados.

Dependiendo de su complejidad, simplificaciones y suposiciones hechas durante su desarrollo, cada modelo consta de un conjunto de ecuaciones algebraicas y/o diferenciales que determinarán la fidelidad de su respuesta en cualquier estado de operación.

OTRAS APLICACIONES.

Son muchas las aplicaciones de la simulación industrial y aunque para la mayoría de personas esto les resulta totalmente transparente lo cierto es que allá donde miremos encontraremos algo relacionado con la simulación industrial.

Los ejemplos más conocidos son los relacionados con el campo de la aeronáutica, pero hay otros mucho más cercanos. Algo que aparentemente no tendría nada que ver con esto es la televisión digital. Pues resulta que sí para que las señales lleguen a nuestros hogares se requiere la instalación de antenas, que por lo general se hallan expuestas a un gran número de desgastes como el viento y la lluvia. Como es lógico los fabricantes de estas antenas no se decantan por un modelo y esperan a que los clientes les llamen para realizar las modificaciones pertinentes. En su lugar recurren a sistemas de simulación que someterán los modelos digitales a cientos de tormentas para comprobar su desgaste.

Otro ejemplo común son los puentes que hay sobre las autopistas para que los peatones puedan cruzarlas. Por muchas personas que pasen por el puente este no cederá, pero ¿y si al peso de los pasajeros se le añade la presión que ejerce la fuerza del viento y las vibraciones y oscilaciones producidas por los vehículos que circulan por debajo?. El puente se puede venir abajo. Una vez más resulta necesario recurrir a la simulación industrial antes de hacer cualquier tipo de puente, porque lo que no se puede hacer es construirlo "infinitamente" resistente por si acaso. Sea como sea, el caso es que en la industria se ha convertido en una norma simular antes de construir y naturalmente, nuestros ordenadores tienen mucho que decir al respecto.

1.13. CAUSA Y EFECTO

Las explicaciones para los acontecimientos tienen que ser buscados en el pasado. Este tipo alternativo de explicación es llamado causal.

Un ejemplo de una explicación causal es: "El alumno de primero bachillerato reprobó el nivel por causa de las malas amistades y porque en todo el año faltaba y no atendía en clase".

A una explicación causal, para que sea verosímil, se le pide que cumpla estos cuatro requisitos:

- ❖ Fuerte correlación entre causa y efecto (si hay una causa, entonces debe también haber un efecto; y si no hay causa, entonces tampoco efecto)
- ❖ La causa debe preceder al efecto y nunca a la inversa
- ❖ Una proporción o razonable conexión entre causa y efecto (hay a veces fuertes correlaciones fortuitas entre diversos fenómenos que no tienen nada que ver entre sí).

- ❖ No hay causa común subyacente que pudiera causar tanto la supuesta causa como el supuesto efecto.

Esta técnica de solución de problemas es una forma de analizar problemas complejos que aparentan tener muchas causas interrelacionadas. Uno de los aspectos clave de esta técnica es el uso de diagramas causa – efecto. Debido a que la apariencia del diagrama, la técnica también es conocida como diagrama de espina de pescado. Los beneficios de esta técnica incluyen:

- ❖ Explorar varias categorías de causas.
- ❖ Creatividad a través del proceso de lluvia de ideas.
- ❖ Imagen visual del problema y las categorías de las causas potenciales.

1.13.1. DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO.

[WEB-09] Describir el problema en el extremo derecho del diagrama. Esto puede ser el problema en realidad o bien el síntoma, en este punto no se puede estar completamente seguro.

Dibujar una larga flecha horizontal apuntando hacia la caja. Esta flecha servirá como espina dorsal en la cual causas mayores y menores serán categorizadas e interrelacionadas como se observa en el diagrama # 1.1.

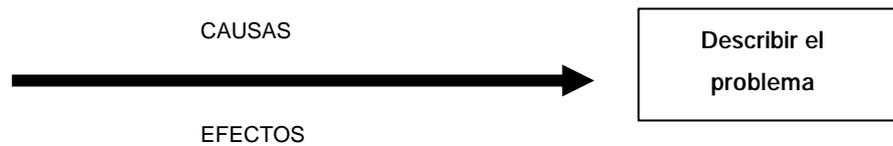


Diagrama # 1.1: Diagrama de Espina de Pescado

Identificar causas potenciales y agruparlas en categorías mayores, continuar con la lluvia de ideas de las causas al analizar mas detalladamente las explicaciones de cada una de las categorías de mayor nivel, se debe escribir causas mas detalladas en líneas perpendiculares que se unan a las barras de la causa de mayor nivel, según sea el caso.

Algunas veces, las causas detalladas podrán contener un mayor nivel de detalle, si eso sucede, será necesario conectar líneas adicionales a las causas correspondientes según sea el caso, para un uso práctico de este diagrama, se recomiendan tres niveles de detalle.

Cuando se haya concluido la lluvia de ideas acerca de las categorías mayores y las causas potenciales mas detalladas y se haya analizado la información que se recopiló, será necesario evaluar cada causa mayor y sus causas potenciales de mayor nivel de detalle. Recuerde que la información original fue recopilada usando lluvia de ideas, en donde todas las ideas fueron incorporadas. Ahora, se deberán determinar cuales son las causas verdaderas o las mas promisorias, depurando la información; con el fin de profundizar la investigación ya sobre la información depurada.

Si no existe un consenso obvio en las áreas que ameritan mayor investigación, use alguna clase de votación con el fin de reducir las causas, lo que incrementará las oportunidades de éxito.

Una vez depuradas las causas del diagrama, por cada elemento que éste contenga, se deberá discutir de que forma impacta al problema.

Finalmente, genere un plan de acción para resolver la causa. Hay que recordar que puede haber un gran número de causas potenciales que interactúan en conjunto para crear el problema. El plan de acción deberá tomar en cuenta estas interdependencias. Si las causas detalladas continúan siendo complejas o, si no se cuenta con la suficiente información, éstas deberán ser asignadas a una o mas personas para un mayor análisis fuera de la sesión de trabajo.

1.14. BENEFICIOS DE LA SIMULACIÓN

- ❖ Permite realizar alteraciones en el modelo de simulación para observar y estudiar los cambios y efectos internos y externos del comportamiento del sistema
- ❖ Generalmente es más barato mejorar el sistema vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real.
- ❖ Debido a su bajo costo nos permite financiar proyectos costosos.
- ❖ Permite estudiar el sistema sin modificarlo, a través de la observación detallada de la simulación consiguiendo estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- ❖ Genera una visión macro y micro del sistema de forma general y detallada.
- ❖ Permitir tratar problemas planteados en amplios periodos de tiempo, comprimiendo su estudio a unos minutos.
- ❖ Carácter Descriptivo; permite la realización de análisis de sensibilidad.
- ❖ Se puede utilizar en todos los niveles de la organización como: operativos, tácticos y estratégicos.
- ❖ La simulación por computadora permite que la persona que toma decisiones experimente con muchas políticas y argumentos diferentes sin cambiar o experimentar realmente con el sistema existente real.

- ❖ Permite utilizarla a la simulación como un medio de entrenamiento al personal para que obtengan experiencia en situaciones complejas.
- ❖ Actualmente lo utilizan como un medio pedagógico a la simulación.
- ❖ Por medio de la simulación podemos identificar los componentes que afectan directamente e indirectamente al sistema en estudio.



CAPITULO II

CONTENIDOS

LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

- ❖ Introducción
- ❖ Antecedentes
- ❖ Técnicas convencionales asistidas por computadora
- ❖ Ingeniería concurrente (IC)
- ❖ Sistemas de diseño asistido por computadora - CAD
- ❖ Sistemas de manufactura asistida por computadora - CAM
- ❖ Sistemas de ingeniería asistida por computadora - cae
- ❖ Estudio de sistemas CAD/CAM/CAE integrado
- ❖ Software CAD/CAM/CAE

LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior, se esquematizó el estudio de la Simulación y de las bases fundamentales para un proceso de simulación. Sin embargo, es necesario, en este capítulo conducir ese conjunto general de conceptos que abarca la simulación hacia la orientación del resultado final de esta tesis, que consiste en el estudio de la simulación para el desarrollo de un sistema CAE (Computer Aided Engeeniering) en una planta de producción de azúcar, específicamente IANCEM.

En este capítulo, se estudian las llamadas Técnicas o Sistemas CA (Computer Aided – Asistidos por Computadora) que se relacionan en un ambiente de producción industrial automatizado. El CAE que es parte de nuestro objeto de estudio, tiene una mayor atención dentro de este tema.

2.1. ANTECEDENTES

La simple necesidad del ser humano de comunicar ideas y pensamientos a sus semejantes, es sin duda el inicio del aparecimiento de técnicas avanzadas y complejas que en la actualidad significan una base fundamental para la automatización de procesos de simulación y operación en la industria.

Según varias bibliografías, todo este tipo de complejas herramientas y técnicas avanzadas de computación, se originaron a partir de utilizar la grafía como medio de expresión y ejemplificación de ideas. Con el pasar de los tiempos, varias ciencias se fueron solidificando al incluir este concepto de gráficos y símbolos en la representación de diseños y bocetos.

Luego, el rápido avance de la computación y sus ciencias, permitió clasificar definitivamente este grupo de técnicas objeto de estudio en este capítulo como Técnicas Asistidas por Computadora y de las cuales se van a explicar las más importantes y de mayor utilización.

2.2. TÉCNICAS CONVENCIONALES ASISTIDAS POR COMPUTADORA

Complementando lo que se mencionaba en el apartado anterior, el avance tecnológico en el ámbito de la computación a nivel de hardware y software; permite a la industria integrar en la línea de producción equipos y programas para su control. Como resultado directo de ello se consigue fabricar series intermedias de un producto a costos comparables a los de las grandes series y, además, la posibilidad de utilización de nuevos enfoques en la organización de la producción, como el "Just In Time" (justo a tiempo).

Por otra parte, es necesario incluir programas que en cada fase de la línea de producción gobiernen dichos equipos y permitan establecer la información necesaria para realizar operaciones de producción óptimas. Es aquí donde entran en juego los sistemas o técnicas asistidas por computadora mencionadas anteriormente. Los sistemas CAD (Diseño Asistido por computadora), CAM (Manufactura Asistida por computadora) y CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) son los más conocidos y más utilizados actualmente.

La Ingeniería Concurrente IC, también está considerada como parte fundamental en la integración de las técnicas antes mencionadas.

Las tecnologías asistidas por computador últimamente han experimentado una gran evolución. El desarrollo de hardware más potente en cuanto a potencia de cálculo y tratamiento de gráficos, la aparición de una nueva

generación de modeladores, la evolución de los interfaces de usuario, van a facilitar que estas tecnologías se utilicen cada día más de forma integrada, y se conviertan en herramientas convencionales en el proceso de diseño y fabricación en la industria.

En los apartados siguientes, se estudia con mayor profundidad cada uno de los sistemas asistidos por computadora ya mencionados.

2.3. INGENIERÍA CONCURRENTE (IC)

Básicamente, se puede definir la ingeniería Concurrente (IC), también llamada simultánea, como una metodología de diseño; en la cual los diseños del producto y del proceso de fabricación están mezclados de manera muy íntima. Teóricamente se trataría de realizar todos los procesos implicados en el desarrollo de un nuevo producto al mismo tiempo, esto es, de manera paralela.

El concepto actual de IC es más amplio que la simple integración de diseño y fabricación al inicio del proceso de diseño. En la actualidad se ven envueltos, además, los departamentos de marketing, los de distribución y ventas. Es decir, el objetivo es implementar un sistema de planificación de la producción desde el proceso de diseño del producto, incluyendo actividades de fabricación, de ensayos y simulación, de promoción del producto, distribución y venta del mismo. Los sistemas CAD /CAM /CAE son una parte muy importante de una estructura informática enfocada a la IC.

La Ingeniería Concurrente es una filosofía orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos, para que sean considerados desde un principio todos los elementos del ciclo de vida de un producto, desde la concepción inicial hasta su disposición final. Debe otorgar además una organización flexible y bien estructurada,

proponer redes de funciones apoyadas por tecnologías apropiadas y arquitecturas comunes de referencia (ej: computadores en red y en bases de datos).

Este nuevo enfoque hacia el diseño que entrega la IC, da un gran realce al papel que juegan las personas en sus respectivos trabajos, las cuales deben estar bien instruidas.

Respecto de la metodología de trabajo de la IC, en esencia utiliza las mismas funciones involucradas en el ciclo de desarrollo de un producto de la forma tradicional de trabajar que es la ingeniería secuencial, a la cual reemplaza; sin embargo, la diferencia se halla en la interacción constante que se produce entre las mismas.

Para alcanzar los objetivos la IC utiliza una serie de principios, los cuales son empleados en un enfoque sistematizado y están relacionados con la introducción de cambios culturales, organizacionales, y tecnológicos en las compañías, a través de una serie de metodologías, técnicas y tecnologías de información.

Los objetivos globales que se persiguen con la implementación de la IC son:

1. Acortar los tiempos de desarrollo de los productos.
2. Elevar la productividad.
3. Aumentar la flexibilidad.
4. Mejor utilización de los recursos.
5. Productos de alta calidad.
6. Reducción en los costos de desarrollo de los productos.

Al ser la IC una metodología relativamente nueva, todavía no se ha implementado en muchas empresas, más aún, en las empresas en que se aplica no se hace en la totalidad de la empresa, sino que involucrando algunos de sus departamentos para que trabajen de esta forma.

Un ejemplo de las empresas que ha aplicado esta metodología de trabajo es ILKO SA, que es fabricante de artículos de cocina. Lo ha hecho solamente en forma conjunta de tres departamentos, los cuales son: Marketing, Diseño y Desarrollo.

Se avizora a futuro, que el uso de esta técnica significará un importante lineamiento para las empresas industriales que utilizan como herramientas en el ciclo de producción los sistemas asistidos por computadora.

2.4. SISTEMAS DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA - CAD

El diseño asistido por ordenador (CAD), empezó aplicándose ya en los años 60 fundamentalmente como sistema sustitutivo de los tableros de dibujo, permitiendo ganancias de tiempo en la generación de planos. Progresivamente ha ido ampliando su campo funcional de aplicación y sus prestaciones, hasta convertirse en lo que es hoy en día, una potente herramienta que permite diseñar objetos en un ordenador como si de cuerpos reales se tratase.

El CAD puede aplicarse a prácticamente todas las áreas de actividad: electrónica, arquitectura, química, geología, textil, ingeniería civil, etc., aunque en las *empresas industriales* se centra la atención en el CAD mecánico.

Una primera clasificación de estos sistemas puede realizarse en base a la capacidad de representación de un objeto en el espacio:

- ❖ CAD 2D: sustitutivo básicamente del tablero de dibujo, la representación de los objetos es bidimensional.
- ❖ CAD 3D: parte de un concepto del objeto en tres dimensiones. Según el nivel de representación pueden distinguirse en:
 - Modelado en jaula de alambre ("wire frame").

- Modelado en superficies.
- Modelado sólido.

En los sistemas de CAD 2D, la información geométrica de que dispone el ordenador es bidimensional, es decir, está contenida en un plano. Las vistas son generadas de forma independiente y no existe asociación entre las mismas. No obstante, a pesar de las limitaciones de estos sistemas en cuanto a diseño, su ámbito de aplicación es muy amplio como: realización de distribuciones en planta, diseño de circuitos eléctricos, electrónicos, hidráulicos y neumáticos, diseño y proyecto de líneas de montaje, proyecto de moldes y matrices, generación rápida de planos para piezas sencillas, etc.

Los sistemas CAD 3D posibilitan la definición de los objetos de forma espacial, es decir, en tres dimensiones (x, y, z). Según sea el tipo de representación, se obtendrá más o menos información del sistema y podrán efectuarse operaciones más o menos complejas.

Así, para un modelo CAD en "wire frame", el ordenador dispone de las coordenadas -x, y, z- de los vértices del objeto, así como información de los elementos geométricos que unen dichos vértices. Es evidente que con estos datos no se dispone de información sobre las caras o superficies del objeto.

El modelado en jaula de alambre ha dejado de existir como tal para pasar a formar parte de los modeladores de superficies, sirviendo en muchas ocasiones como estructura de base para la generación de las mismas.

Los modelos CAD en superficies incorporan la información de los "wire frame" y, como su nombre indica, de las superficies del objeto diseñado. Este tipo de sistemas CAD son los más usados actualmente cuando se requiere modelado tridimensional de piezas complejas. En la figura # 2.1 se muestra un ejemplo de un modelo 3D de una pieza que formará parte de un producto final diseñada en Autocad.

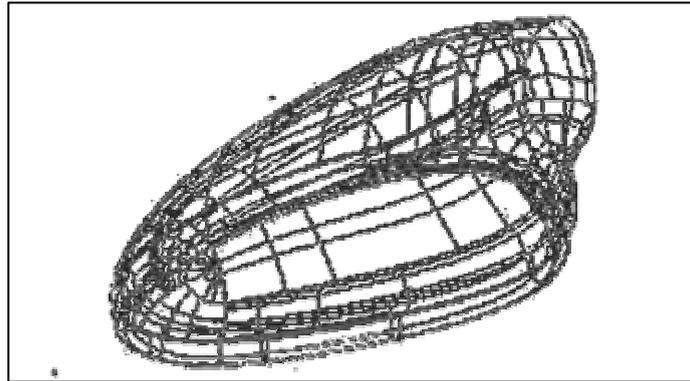


Figura # 2.1 . Modelo 3D de una pieza mecánica generada con AUTOCAD

Los modelos CAD de superficies cuando han sido generados correctamente, sirven como base de partida de generación de planos para la aplicación de sistemas CAM, CAE y de Reingeniería de Procesos.

Entre las herramientas más conocidas que encajan en la descripción de un sistema CAD, encontramos al Autocad, FoxDraw, etc.

2.5. SISTEMAS DE MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA CAM

Los sistemas de fabricación asistida por ordenador CAM tienen por objetivo, básicamente, proporcionar una serie de herramientas que permitan fabricar el producto diseñado.

Actualmente, el CAM se conoce fundamentalmente como sistema de programación "off-line" de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado, máquinas programadas y controladas por computador a través de software de diseño y manufactura, CAD/CAM).

Sin embargo, debe precisarse que el CAM es un concepto mucho más amplio, que incluye la programación de robots, de máquinas de medir por

coordinadas (CMM, Máquinas de medir por coordenadas), planificación de procesos, etc.

La primera y más importante aplicación del CAM es la programación "off-line" de máquinas CNC, o sea, la generación de programas fuera de las mismas. Ello permite realizar los programas sin interrumpir a la máquina, además de poder simular la ejecución de los mismos en el ordenador, evitando así posibles errores y colisiones, aumentando el rendimiento de la máquina y la calidad del producto final.

Los sistemas CAM pueden utilizarse para diferentes tecnologías que, normalmente, están disponibles por módulos en las industrias dedicadas a la generación de piezas, como: fresado, torneado, electroerosionado, punzonado, corte por láser, oxicorte, etc.

Durante el proceso de desarrollo de un producto, es muy frecuente que se fabriquen maquetas o prototipos para la aprobación de estilo. Si estas maquetas son fabricadas mediante CAM en base a un modelo CAD, el producto final será idéntico a la maqueta aprobada.

Existen, además de los potentes sistemas CAM desarrollados para trabajos muy complejos, los denominados WOP ("Workshop Oriented Programming") o programación orientada a taller. Estos son sistemas de fácil utilización, con una funcionalidad CAD limitada, que funcionan sobre ordenadores personales y que están pensados para ser usados en el taller por los propios operarios de las máquinas.

Los objetivos principales de estos sistemas son descentralizar la programación de aquellas piezas de baja dificultad, liberando así los recursos más costosos para piezas de mayor complejidad, y aprovechar el conocimiento de los operadores de las máquinas.

2.6 SISTEMAS DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA - CAE

Esta técnica nació a principios de los años 50 como una necesidad de la industria aeronáutica en procesos de obtención de parámetros de operación óptimos en naves; y es anterior a la aparición del CAD/CAM.

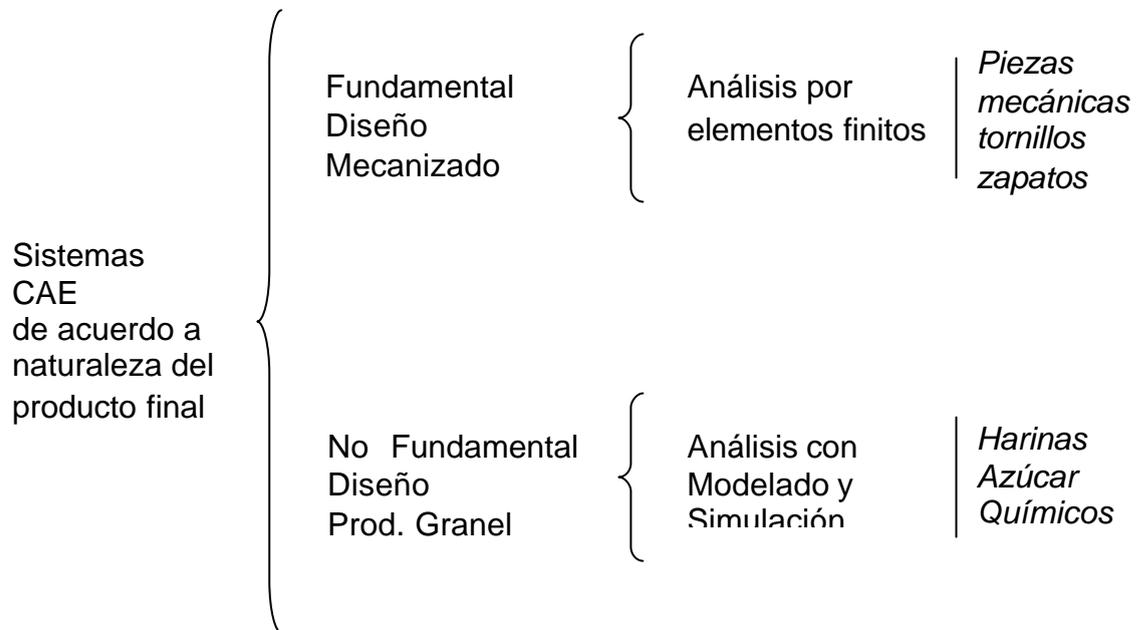
Computer Aided Engineering / Ingeniería asistida por ordenador. [WEB-12] Son sistemas que permiten simular el comportamiento de los diferentes modelos sometidos a esfuerzos, alteraciones o cambios, movimientos, temperaturas, etc.

El objetivo principal del sistema CAE al ser considerada su aplicación en los ciclos de producción de una industria, es simular el comportamiento del sistema productivo de acuerdo a las alteraciones o modificaciones de variables o factores que intervienen en el mismo, obteniéndose adicionalmente un análisis de información que permita establecer principales falencias o pérdidas en el producto final.

A lo largo del desarrollo de un producto en un ciclo de producción, se repite con frecuencia el ciclo prueba-error que tiene como objetivo el validar un diseño determinado, dándose tantas más veces cuanto más complejo es el diseño. Es decir, durante la simulación del ciclo de producción, se deben ir obteniendo resultados acorde al proceso, los mismos que se van ajustando de acuerdo a los cambios que se realicen al encontrar errores o datos alejados de la realidad.

La fase principal en el proceso de desarrollo que comprende el modelado y la simulación, es muy importante por el coste de las operaciones que intervienen y el tiempo dedicado a ellas, como: la construcción de modelos, realización de ensayos sobre ellos y análisis funcionales, etc...

Es importante entonces, clasificar los sistemas de ingeniería asistida por ordenador de acuerdo al producto resultado de la fabricación como:



Un conjunto de paquetes que en aplicaciones de *producción al granel*, utilizan las técnicas de modelado y de simulación; y, en aplicaciones de *mecanizado*: análisis por elementos finitos (FEM/FEA).

Es decir, cuando el producto terminado en una industria necesita de precisiones en el diseño, por ejemplo, en una fábrica de zapatos deportivos se cuenta con un departamento de diseño que se encargará de esbozar nuevos modelos, entonces, es necesario la aplicación de análisis por elementos finitos como técnica de Ingeniería Asistida por computador. En cambio, cuando el diseño en el producto final no es indispensable, como es el caso de nuestro estudio que el azúcar no necesita de un diseño físico; se aplica como técnica de análisis el Modelado y la simulación con el objetivo

de obtener la información del proceso de producción de azúcar y de las pérdidas en el IANCEM .

Como mencionábamos anteriormente, los sistemas CAE posibilitan la simulación del comportamiento de un producto, pieza o mecanismo a un fenómeno determinado sin necesidad de disponer físicamente de este producto, pieza o mecanismo. En nuestro caso, el análisis de la información que se espera obtener, se basa en el volumen de pérdidas durante el ciclo de producción de azúcar en el IANCEM de acuerdo a los factores de operación actuales.

El ámbito de aplicación de los Sistemas CAE es muy amplio, siendo algunos de los principales los siguientes:

- ❖ Cálculo estructural lineal y no lineal.
- ❖ Transferencia de calor, en régimen estacionario y transitorio.
- ❖ Cinemática y dinámica de mecanismos.
Electromagnetismo.
- ❖ Procesos de Producción.
- ❖ Análisis geológicos.

Este último modelo será el utilizado para la realización de los distintos cálculos durante la simulación.

Si bien es cierto que estos sistemas ofrecen divergencias entre los resultados obtenidos y la realidad, también lo es que, el comportamiento del producto ante un fenómeno físico determinado puede ser bastante distinto de acuerdo a las circunstancias en que se lo aplique. El CAE posibilita además la evaluación de un número más amplio de alternativas, tanto en relación a la materia prima utilizada como a posibles cambios de la misma durante el desarrollo del producto.

Finalmente, en las empresas donde la innovación y lanzamiento de nuevos productos es una necesidad diaria, el uso de la herramienta CAE se convierte en una rutina. Los procesos de innovación y diseño de nuevos productos se descomponen en varias etapas en las cuales intervienen las herramientas CAE.

2.7. ESTUDIO DE SISTEMAS CAD/CAM/CAE INTEGRADO

El grupo de técnicas de diseño asistido por computador ha experimentado un notable progreso en los últimos años, hasta el punto de que pueden considerarse suficientemente sólidas y aplicarse de forma conveniente a lo largo de todo el proceso de diseño y fabricación de un producto. De hecho, cuando las técnicas de diseño asistido por computador se conciben de forma global e integrada el proceso se vuelve realmente efectivo.

Actualmente, la concepción de un manejo integrado de este grupo de técnicas, se ve limitado a un cierto grupo de industrias y depende significativamente al “giro del negocio”; aquellas industrias que asimilan efectivamente este tipo de integración son las del tipo de producción de piezas o moldes para generación de partes o repuestos. Por otro lado, las industrias que generan productos en los que no es tan fundamental el diseño final, sino más bien el empaque, integran el tipo de herramientas asistidas por computador convenientes.

Es así, que un modelo o diseño realizado mediante CAD es, generalmente, el punto de inicio para la aplicación del resto de técnicas asistidas en un entorno integrado. La calidad de este modelo CAD condiciona la calidad de los resultados que puedan obtenerse posteriormente del CAE y CAM. Este aspecto es de mucha importancia para obtener el éxito esperado de la

utilización de estos sistemas y amerita asignar los recursos y procedimientos necesarios.

A continuación, en el grafico # 2.4. se muestra un esquema de desarrollo integrado completo de un producto, desde la idea inicial hasta la disponibilidad rápida de un prototipo físico.



Grafico # 2.4. Proceso de integración de CAD/CAM/CAE

En primer lugar aparece la **NECESIDAD** de desarrollar un nuevo producto. Esta necesidad puede venir dada por imperativos de mercado, en el caso de desarrollar producto propio, o por petición de un cliente determinado si se es proveedor de piezas o sistemas.

En base a esta necesidad se lleva a cabo una primera fase de **DOCUMENTACIÓN** respecto a experiencias anteriores, análisis de la competencia, ideas de cara al futuro, etc., que servirá para determinar las líneas generales que definirán el producto.

Seguidamente se determinan unas **HIPÓTESIS DE PARTIDA** que permitirán comprobar la viabilidad del proyecto. Estas hipótesis suelen ser, entre otras, las siguientes:

- ❖ Coste del producto.
- ❖ Producción prevista.
- ❖ Calidad.
- ❖ Límites del problema a resolver.
- ❖ Normativa a cumplir.
- ❖ Seguridad.
- ❖ Sistema de montaje.
- ❖ Fecha aproximada de inicio de producción.

Una vez tomada la decisión de desarrollar el producto, se efectúan los **PREESTUDIOS** de diversas soluciones respetando las determinaciones anteriores. Estos preestudios consisten básicamente en la elaboración de:

- ❖ Croquis, diseño formal.
- ❖ Cálculos previos.
- ❖ Primeros prototipos "conceptuales".
- ❖ Análisis de cada solución.

Del resultado de estos preestudios pueden derivarse conclusiones que afecten a las hipótesis de partida, pero de ellos saldrá la **SOLUCIÓN DEFINITIVA**.

Posteriormente viene el **DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA**, lo cual dará lugar al inicio del diseño completo del producto.

- ❖ Cálculos y simulaciones.
- ❖ Planos de detalle y de conjunto.
- ❖ Prototipos.
- ❖ Estudio de los sistemas de fabricación.

Efectuando un análisis de la solución definitiva con criticismo constructivo.

Una vez construidos los **PROTOTIPOS**, hay que llevar a cabo un análisis de los mismos, tanto desde el punto de vista funcional como estético. Los resultados de estos análisis pueden generar modificaciones sobre el diseño, sobre el cual, una vez modificado, se construirá un nuevo prototipo el cual se ensayará nuevamente, repitiendo este ciclo hasta obtener el diseño óptimo.

Durante esta fase ya participan los distintos departamentos de la empresa así como los proveedores de los distintos **UTILLAJES Y LINEAS DE PRODUCCIÓN**. Empezando de este modo a proyectar y construir moldes o patrones.

Llegado este punto, cabe mencionar que la aplicación de la ingeniería concurrente exigirá cada día más la participación, entre otros, de los fabricantes de moldes y matrices, ya en las primeras fases del desarrollo de un producto. Los objetivos principales serán reducir el tiempo de desarrollo y puesta en producción, diseñar un producto "fabricable" y evitar cambios cuando el producto está en fase de producción.

Obtenido el diseño definitivo, se pasa a una **EDICIÓN DEL PROYECTO DEFINITIVO**, consistente en la generación de la colección de planos relativos al proyecto, elaboración de las listas de materiales, creación de estructuras, etc.

De forma casi paralela a la fase anterior, se lleva a cabo una **SERIE PILOTO**, con la cual se comprueba el buen funcionamiento de los utillajes y medios de producción fabricados por Ingeniería de Producción, a través de un análisis de dicha serie.

Una vez que se dispone de los utillajes definitivos, se elabora una **SERIE CERO** cuyo objeto es simular la fabricación en serie del producto en las condiciones que posteriormente será fabricado. Los productos obtenidos de

esta serie, son sometidos a un análisis y aprobación por parte de Control de Calidad, pudiéndose generar modificaciones que afectarán al modelo definitivo. Asimismo, esta serie sirve para homologar el proceso de producción.

Tan pronto Control de Calidad homologa el producto, éste se encuentra dispuesto para entrar en **PRODUCCIÓN**.

Entonces, la integración de las herramientas CA (Computer aided) y su implementación en una industria, depende directamente del giro del negocio y de los productos que se fabriquen, tomando en cuenta las unidades de operación de la planta y la factibilidad de aplicar procesos de diseño y simulación a las mismas.

2.8. SOFTWARE CAD/CAM/CAE

La utilización de sistemas CAD (de diseño asistido por computadoras) se utilizan generalmente en los procesos de diseño y de confección de proyectos de obras de ingeniería.

De la misma manera, también se van utilizando sistemas CAE (de ingeniería asistida por computadora) los cuales, no solamente facilitan el diseño de la obra, sino también los cálculos de ingeniería relacionados como: funcionalidad, estabilidad, la resistencia de sus elementos y los cómputos de materiales, teniendo en cuenta en cada caso las normas establecidas.

Análogamente, así como una persona que no sabe utilizar los modernos procesadores de texto para leer o escribir puede considerarse desactualizada, lo mismo puede decirse de los ingenieros que no utilizan los sistemas CAD, CAM o CAE por falta de conocimientos.

Hoy en día existen un sinnúmero de aplicaciones de Software de CAD o CAE o CAM o los tres integrados, que proporcionan funcionalidad de operación a industrias que los requieren. Se menciona a continuación algunos de ellos:

Unigraphics Software; es un sistema CAD/CAM/CAE para el diseño mecánico de gama alta. Sus asistentes de procesos ayudan a condensar conocimientos existentes acerca de productos y procesos complejos, a fin de mejorar significativamente la productividad en diseño y fabricación. Entre estos destaca MoldWizard, un asistente que permite el desarrollo completo de un molde, así como los sistemas de mecanizado de alta velocidad.

CAPE Software; es una herramienta de productividad para la protección de sistemas de potencia, útil a ingenieros especializados en relés. Proporciona un ambiente completo, tanto analítico como de registro para todas las actividades de un grupo de ingeniería de protección. Comprende módulos interactivos: Cortocircuito, Gráficos de coordinación, Simulación de *sistemas* (protección), Comprobación de coordinación y Sensibilidad de relés, Instalación de relés, Constantes de línea, Impresión y Diagramas de una línea, todo ello integrado a una Base de datos relacional DBMS y un Editor. Una característica única de CAPE es la simulación de eventos por pasos desde los módulos Simulador de sistema y Comprobación de relés, que conducen una detallada y completamente automatizada recapitulación de cualquier evento, desde un simple fallo hasta un sistema completo.

DADS/Basic Software; es una forma sencilla y económica de iniciarse en la tecnología de simulación de sistemas mecánicos. DADS/Basic incluye DADS/Model, los módulos de análisis y DADS/Graph.

DADS/Basic permite al usuario investigar rangos de movimiento, evaluar de forma interactiva conceptos de diseño y realizar análisis estático, dinámico, cinemático, dinámico inverso y cuasi-estático para obtener posición,

velocidad y aceleración del mecanismo. No incluye elementos de contacto, hidráulicos, de control, ni la definición de fuerzas ni subrutinas de usuario.

MoldCool Estimator Software; se considera un programa fácil de usar para el cálculo de los tiempos de enfriamiento en moldeo por inyección. En un menú de entrada se selecciona el tipo de resina a usar y el tipo de acero con que se fabrica el molde, así como el espesor nominal y máximo de la pieza, tamaño y longitud del canal de enfriamiento. En pocos segundos el sistema calcula el tiempo requerido de enfriamiento.

El programa está diseñado para responder a variaciones en los parámetros de entrada, con los que se pueden comparar resultados y buscar uno óptimo en el tiempo del ciclo. Entre las ventajas que ofrece están:

- ❖ Exactitud en las predicciones, del orden de 2 a 3%.
- ❖ Evaluación de diferentes diseños de canales de enfriamiento.
- ❖ Reducción del tiempo de cotización de una obra de construcción de un molde.
- ❖ Almacenamiento de los cálculos para referencia futura.

Además existen otros tipos de software aplicados a :

Diseño 3D, ensamblaje de grandes conjuntos de piezas, ensayos estáticos y dinámicos por elementos finitos, análisis de fatiga, mecanizado de piezas.

Simulación gráfica de procesos y fabricación.

Software de Ingeniería de producción para el diseño, simulación y programación off-line del proceso productivo.

Software para el diseño de plantas de procesamiento.

Programas de diseño y cálculo de intercambiadores de calor, etc.

Se han analizado las técnicas Asistidas por computadora, y se han llegado a establecer conceptos importantes para el aplicativo que se desea realizar. A través de estos conceptos se adecuarán los procedimientos para que el sistema de simulación pueda ser considerado un sistema CAE.



CAPITULO III

CONTENIDOS

DESARROLLO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN

- ❖ Análisis del sistema
 - ❖ Análisis de requerimientos
 - ❖ Definición del sistema
 - ❖ Adquisición y recopilación de información
 - ❖ Definición de procedimientos
- ❖ Diseño del sistema
 - ❖ Simulación a través de modelos matemáticos
 - ❖ Diseño de la base de datos
 - ❖ Diseño de pantallas de entrada y salida
- ❖ Desarrollo de la aplicación
- ❖ Implementación de sistema simulador
- ❖ Documentación

DESARROLLO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN

3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA

En este apartado se detalla la descripción de la metodología utilizada en el desarrollo del sistema informático para el Área de Producción del Ingenio Azucarero del Norte – IANCEM, que es el resultado del estudio de los conceptos y técnicas de la Simulación, de la Ingeniería Asistida por computadora (CAE) aplicada a la industria y de los procesos de Producción de la planta de fabricación de la azucarera antes mencionada.

Aquí, se indican las herramientas de software empleadas en la implementación del aplicativo, tanto lo que tiene que ver con el Sistema Operativo, Servidor, Lenguaje de Desarrollo, Manejador de bases de datos, frontal, etc.

3.1.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Como punto de inicio en el desarrollo del aplicativo se define el problema que necesitamos solucionar, se establece hasta qué punto la aplicación ayudará a resolverlo; progresivamente se establecen las necesidades de información que serán cubiertas por el mismo, luego se empieza con el diseño metodológico general del aplicativo y de los módulos o subsistemas que contiene, para finalizar con el prototipo que se utilizará en ir verificando que se completó con las necesidades y exigencias del sistema.

El aplicativo en mención es un Sistema Informático del tipo Simulador y que por su naturaleza de análisis de la información que maneja se enmarca en un Sistema de Ingeniería Asistida por Computadora CAE y se consiguió que se lo realice en la Planta de Producción del Ingenio Azucarero del Norte IANCEM, donde el principal objetivo de esta factoría es la producción de azúcar blanco de calidad.

Para empezar con el desarrollo del proyecto, nos informamos de la actividad que cumple el IANCEM en el sector industrial, concibiendo la estructura organizacional, su infraestructura fabril y tecnológica, el rol del negocio, etc.

A continuación, se detallan características generales del proceso de producción azucarera que es necesario que el lector las conozca para facilitar la comprensión del aplicativo en mención.

En el IANCEM se elabora *azúcar blanco*, producto derivado de la caña de azúcar y que se lo obtiene a través de una serie de procesos que permiten dicha transformación. Constitutivamente el proceso de obtención de azúcar es de tipo químico, ya que el azúcar se obtiene a través de moléculas químicas presentes en la caña, denominadas sacarosa y que en las diferentes fases del proceso se van transformando hasta cristalizarse y formar los granos de azúcar. Se utiliza un caldero para la generación de vapor que es la fuente de energía de los mecanismos y equipos que intervienen en el proceso.

En todo proceso de producción existen materiales que no forman parte del producto final, pero que arrastran parte del producto y que también son derivados de la materia prima; en el caso de IANCEM, también se obtiene: melaza, bagazo, cachaza y ceniza.

Durante el ciclo de producción del IANCEM intervienen diversos factores químicos que pueden provocar pérdidas al proceso si no son controlados efectivamente.

Con estos lineamientos generales del proceso, posteriormente nos enfocamos específicamente al área de desarrollo del aplicativo: la planta de producción. Del análisis de infraestructura tecnológica disponible en producción, se encontraron herramientas de software interesantes para el control del proceso de azúcar como es el caso del Sistema de tipo comercial

FOXBORO, que a través de PLCs, monitorea algunos factores de producción importantes y los mantiene en un rango óptimo de operación. Este es un sistema de tipo “on line”, es decir, que funciona a la par con el proceso de producción; situación diferente a un sistema de simulación que es de tipo “off line” fuera de línea de producción y que funciona sin necesidad de que la planta esté operando, incluso sin que ésta exista.

“Este sistema FOXBORO en nuestra aplicación es considerado como una fortaleza, ya que es una de las fuentes de obtención de información real para las corridas del simulador.” En la figura # 3.1, se muestra la funcionalidad del Aplicativo y la intervención de los recursos en él.

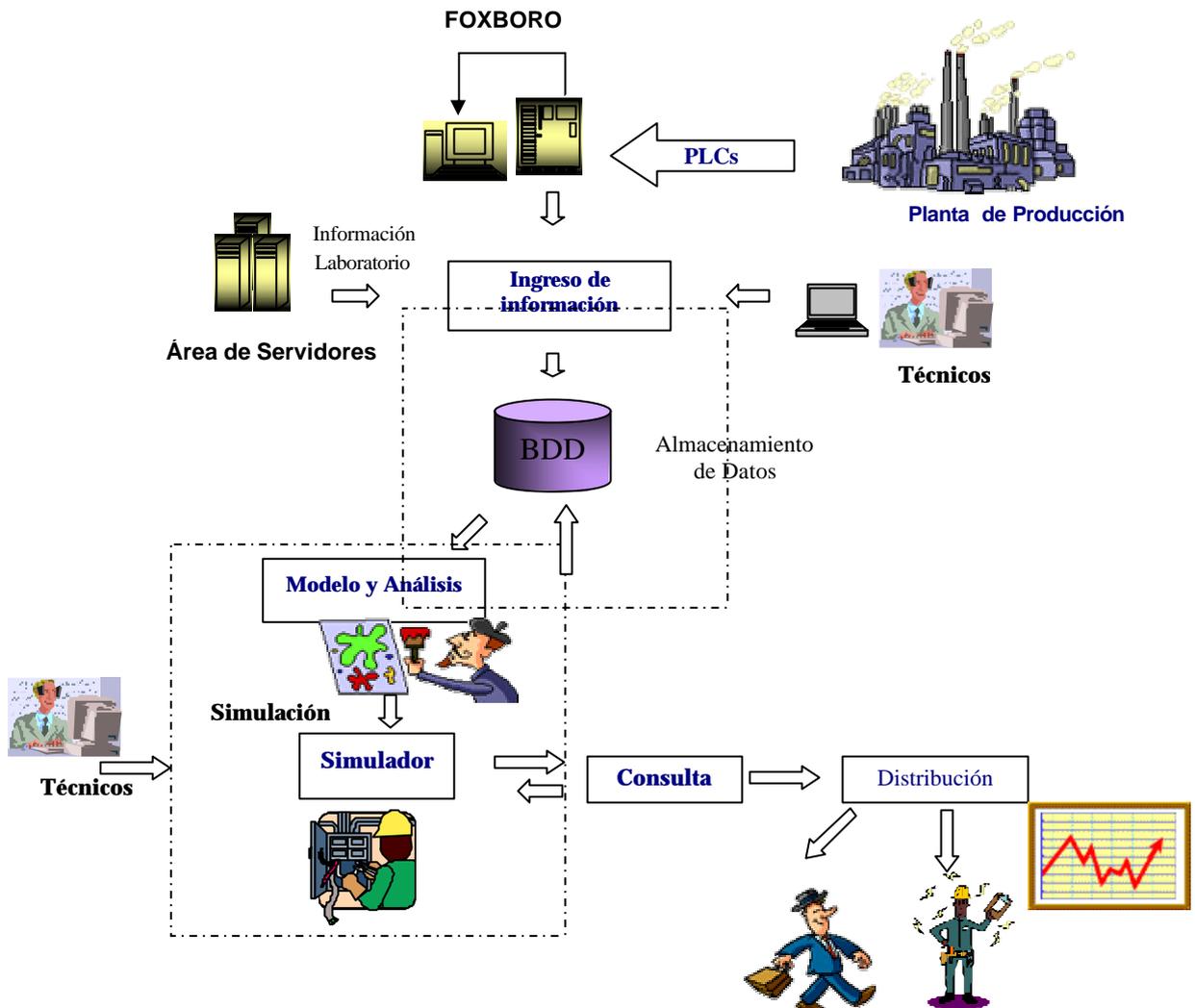


Gráfico # 3.1 -Gráfico de funcionalidad del Aplicativo a implementarse

Después de un análisis de la información en el Proceso de Producción de IANCEM, se establecieron como requerimientos del sistema, realizar un sistema que permita simular el comportamiento del proceso de producción; que a través de un Balance de Materiales o Masa se consideren en cada Unidad Operativa de Proceso o Módulo los factores importantes que intervienen en el proceso y a partir de variaciones de los mismos se pueda medir el comportamiento de los Módulos continuos en la línea de producción. Esto permitirá al final de cada corrida del sistema, obtener datos de volúmenes de producción de azúcar. Las Unidades Operativas o módulos considerados para el efecto son: molienda, purificación, clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y envasado.

NOTA: Los proceso de Producción se detalla en el CD de anexos en la dirección, CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Procesos.pdf

En el gráfico # 3.2, se pueden visualizar las Unidades Operativas de Proceso o módulos que intervienen en el proceso de producción del IANCEM, con los flujos de material más importantes.

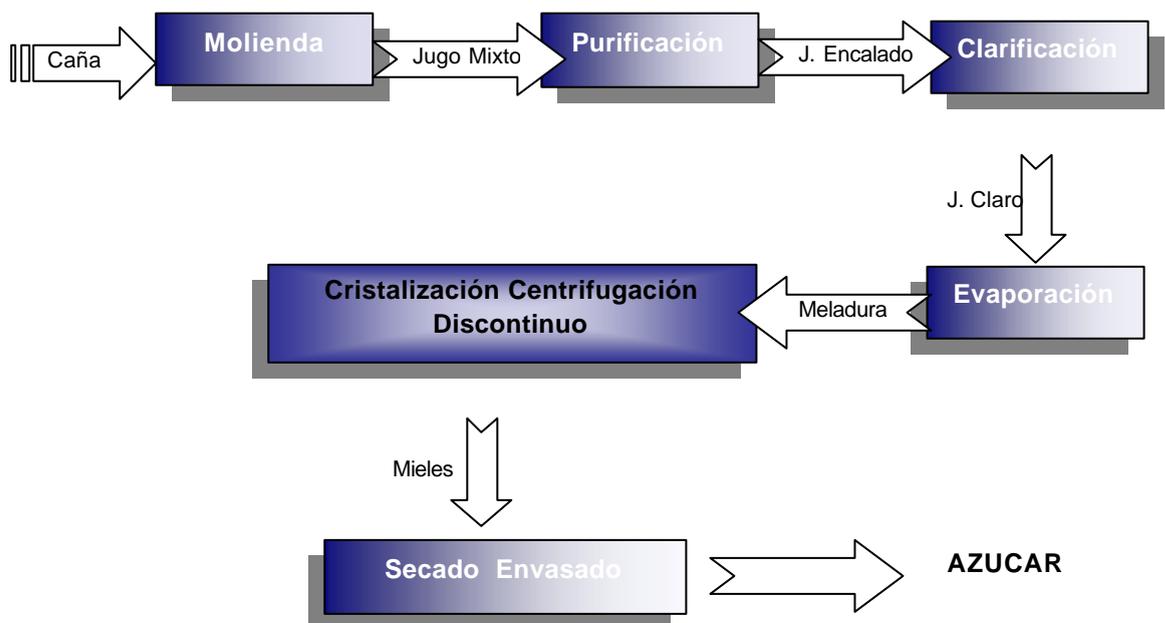


Gráfico # 3.2. UOPs del Proceso de Producción en el IANCEM

3.1.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Para el desarrollo de esta aplicación y por su naturaleza, se recomendaba el uso de lenguajes de programación específicos para simulación, pero como desarrolladores no creímos conveniente que la compañía incurra en gastos innecesarios adquiriendo licencias de software que no tiene frecuencia de uso.

Es por esto que se desarrolló la aplicación utilizando el software que la empresa IANCEM dispone y que a juicio nuestro y basados en la bibliografía está acorde a lo que necesitamos.

SISTEMA OPERATIVO

El sistema operativo de Red que se utilizó es Windows 2000 Server de la casa Microsoft, que es uno de los sistemas operativos más populares y con buenas prestaciones en procesos de tipo Cliente-Servidor.

SERVIDOR DE BASE DE DATOS

El Sistema Gestor de Base de Datos que se utilizó para el almacenamiento de la información que opera el Sistema Simulador que se desarrolló es SQL Server de Microsoft versión 7.0. Este SGBDD, se acopla perfectamente tanto con la plataforma como con el frontal que se menciona más adelante. SQL Server es uno de los gestores más livianos y con un sinnúmero de prestaciones como almacén de información; permite inclusive la construcción de cubos de información muy útiles en el momento de reportar gran cantidad de información.

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN – FRONT END

No se utilizó un lenguaje específico de desarrollo de aplicaciones de simulación; más bien se optó por escoger dentro de los lenguajes de propósito general, el que más se acople a las exigencias del proyecto y del cual se disponga del mayor conocimiento posible, además de aprovechar de la tecnología disponible en el IANCEM. Es por esto, que se utilizó a Visual Basic versión 6.0 como el lenguaje de desarrollo de la aplicación ya que permite un manejo de programas flexibles y con algunas prestaciones en el momento del análisis y cálculos de la información.

CLIENTE - SERVIDOR

El cliente es el responsable de la parte lógica y de presentar la información al usuario. Generalmente el cliente corre en una o más computadoras clientes, aunque también puede correr en una computadora Servidor con SQL Server.

SQL Server administra Base de Datos y distribuye los recursos disponibles del servidor (tales como memoria, operaciones de disco, etc) entre las múltiples peticiones.

Los Componentes Cliente y Servidor de SQL Server corren en los Sistemas Operativos mostrados en la siguiente tabla.

PLATAFORMA	COMPONENTE SERVER	COMPONENTE CLIENTE
Microsoft Win 95/98	Si	Si
Microsoft Windows NT Workstation 4.0 y posteriores	Si	Si
Microsoft Windows NT Server 4.0 y posteriores	Si	Si
Microsoft Windows NT Server Enterprise Edition 4.0 y posteriores	Si	Si
Windows 3.X	No	Si
MS-DOS	No	Si
Third party	No	Si (Unix, apple Macintosh)
Internet Browsers	No	Si

En el esquema # 3.1. se puede observar las plataformas para SQL Server 7.0.

Gráfico # 3.1. Plataformas de los Componentes Cliente / servidor.

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE SERVIDOR

El sistema de simulación por el volumen de cálculos y operaciones que realiza, necesita de un equipo con un procesador robusto y confiable; es por esto que no se recomienda la instalación en equipos que no cumplan con estas características:

- ❖ Procesador Pentium IV 2.0 Ghz
- ❖ Memoria 256 MB
- ❖ Espacio de disco 500MB libres
- ❖ Tarjeta de Red 10/100Mbps

Sin embargo, el sistema de simulación está corriendo en IANCEM en un Servidor de mayores prestaciones:

- ❖ Procesador Xeon 3.2 Ghz
- ❖ Memoria 2 Ghz
- ❖ Espacio en disco libre 60GB
- ❖ Tarjeta de Red 1Gbps

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE EN CLIENTE

- ❖ Mínimo estación win 98 SE,
- ❖ 30 MB espacio libre en disco
- ❖ procesador Pentium 266 Mhz
- ❖ Memoria de 128MB
- ❖ Tarjeta de red 10/100

3.1.3. ADQUISICIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase de análisis y recopilación de información, cabe mencionar que se tomó más tiempo (aproximadamente 18 meses) de lo planificado en nuestro estudio, ya que fue indispensable el que tengamos un nivel de conocimiento elevado del proceso de producción para poderlo esquematizar en un sistema de simulación informático. Además, nos soportamos en el conocimiento y la experticia de los ingenieros de Producción, del Jefe de Control de Calidad y del Jefe de Instrumentación.

En esta fase, aplicamos conceptos de recopilación de información de sistemas expertos: entrevistas, narración de procesos, casos reales, fotografías, videos, visitas explicativas, etc.

Además, para la recolección de la información se utilizó gran parte los informes del laboratorio de fechas anteriores y se realizaron análisis de laboratorio aproximadamente seis meses para tener un grado de confianza de los datos, la información obtenida del proceso sirvió para definir cuales son los factores que se pueden medir, cuales son parámetros, y que factores dependen de otros valores, además se pudo determinar un rango sobre el cual se controlará el ingreso de datos para cada módulo. Más adelante podremos revisar la información mencionada para cada módulo expuesta en tablas.

3.1.4. DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTOS

Una vez que se especificó los factores de ingreso del sistema simulador o proceso de producción del IANCEM, también se definieron los procedimientos que operan en el sistema simulador por computadora, entre ellos tenemos: autenticación, simulación a través de modelos matemáticos,

gráficos, reportes, consultas y almacenamiento en la base de datos. Este último, porque es indispensable conservar un histórico de las corridas realizadas exitosamente, ya que pueden servir como un recurso para evaluar la producción y tener datos acercados de las pérdidas de azúcar que se presentan en el proceso productivo.

PROCEDIMIENTO AUTENTIFICACIÓN

En el aplicativo se nos solicitó mantener dos usuarios para el manejo de interacción con el software; se concibieron los siguientes usuarios:

- ❖ Administrador
- ❖ Operador

El administrador tiene los siguientes privilegios en el sistema simulado por computadora.

- ❖ Manejo de todos los formularios
- ❖ Simular a través del modelo matemático desarrollado
- ❖ Sacar gráficos estadísticos
- ❖ Sacar reportes y consultas
- ❖ Almacenar, modificar, eliminar en la base de datos

Mientras que, el Operador puede: Simular a través del modelo matemático y sacar gráficos estadísticos comparativos del proceso. Ver en la figura # 3.3 un esquema del sistema de simulación a implementarse.

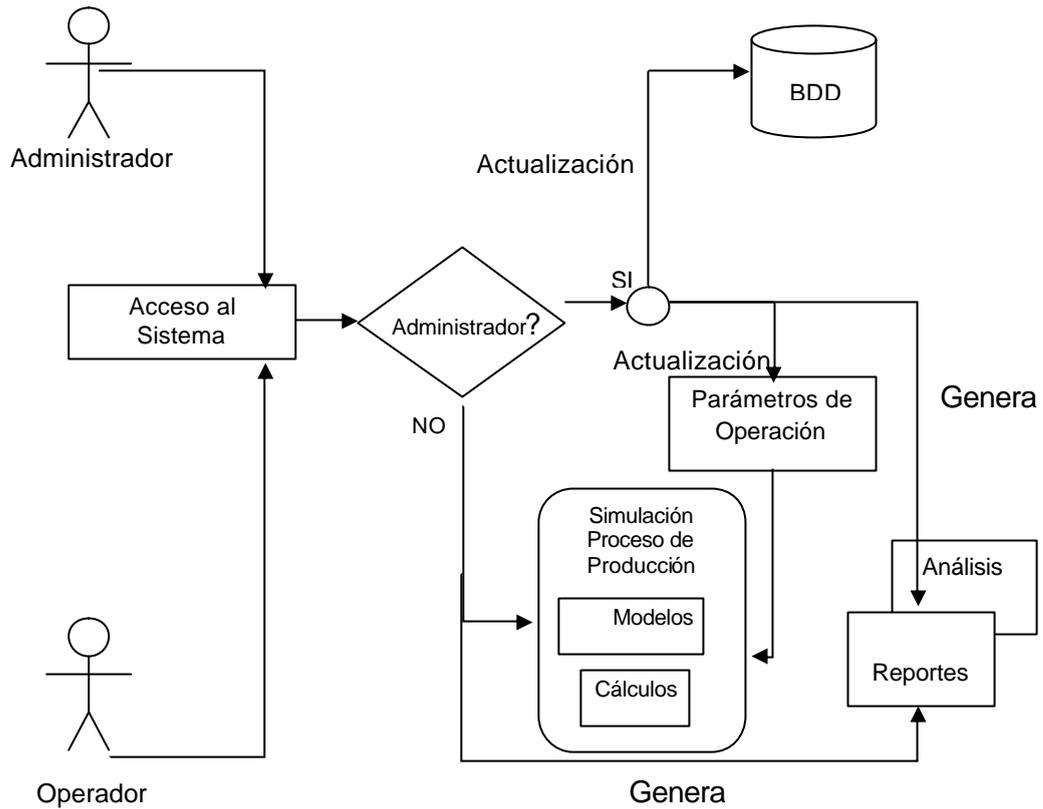


Figura # 3.3 Gráfico de secuencia del Sistema de Simulación de Producción

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1. SIMULACIÓN A TRAVÉS DE MODELOS MATEMÁTICOS

De acuerdo a las necesidades del sistema, es necesario realizar un sistema simulador, basado en la ley de la conservación de la masa, que dice, nada se destruye solo se transforma; y realizar un balance de materiales para establecer los factores idóneos para cada Unidad Operativa de Proceso. Es por esto que como definimos anteriormente, se va a ir tratando cada una de las UOP o módulos para el desarrollo del sistema de simulación de acuerdo al gráfico # 3.2. Y en cada uno de los módulos se irán esbozando gráficos de

casos de uso similares debido a que este particular es semejante en todos los módulos.

3.2.1.1. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE

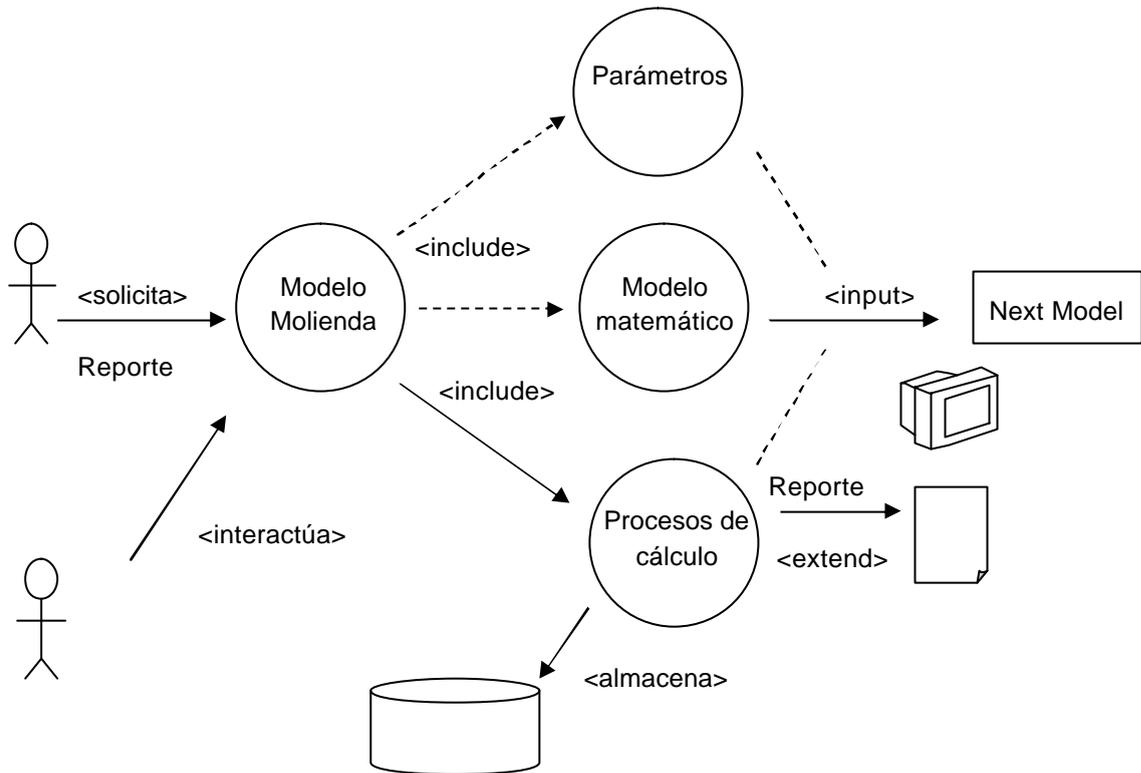


Figura # 3.4 Diagrama de Casos de Usos – Módulo de Molienda

MOLIENDA

El modelo se plantea a través de diversos factores que se han llegado a definir y de los cuales se han tomado los más importantes para su análisis. En la tabla # 3.1, se detallan los factores que intervienen con sus respectivos rangos de ingreso.

FACTORES DE INGRESO	RANGOS
Toneladas de caña a moler en ton / día	0 a 1200
Flujo de Imbibición m ³ / h	6 a 3
Pol de caña	12 a 14.5
Tiempo perdido en el día	0 – 24 h
Kg fibra / kg bagazo (entra molino 1)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (sale molino 1)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (jugo molino 1)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (sale molino 2)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (sale molino 1)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (jugo molino 2)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (sale molino 3)	0.1 a 0.6
Kg fibra seca/kg bagazo (sale molino 4)	0.1 a 0.6
Fracción bagazo en la mezcla bagazo/jugo(sale molino 1)	0.1 a 0.6
Fracción bagazo en la mezcla bagazo/jugo(sale molino 2)	0.1 a 0.6
Pol (Kg azúcar/kg muestra)	6 a 17

Tabla #3.1 : factores del módulo de molienda

Además de los factores de ingreso tenemos los factores que dependen de otros ingresos y sirven para llevar un control del proceso evitando con ellos posibles errores que se presenten en el proceso real, en la tabla # 3.2 podemos listar los factores dependientes.

FACTORES DEPENDIENTES
Bagazo saliente molino # 1
Jugo saliente molino 1, con bagazo
Jugo saliente molino 2, con bagazo
Bagazo saliente molino 2
Ton. Jugo de imbibición, es jugo saliente molino 4
Bagazo saliente molino 3
Toneladas jugo mixto
Ton bagazo/hora, bagazo saliente molino 4
Ton. Jugo imbibición hacia salida molino 1, es jugo saliente molino 3

Tabla # 3.2: Factores dependientes del módulo molienda

La molienda esta conformada por cuatro molinos conectados en serie que permiten la extracción en su máxima capacidad del jugo de la caña o sacarosa, (en el anexo CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Procesos.pdf se explica como es su funcionamiento) las mismas que logran calcular los datos de las variables que intervienen en la extracción y conocer porcentajes de pérdidas de sacarosa que se presentan en este módulo.

Con el siguiente grupo de ecuaciones que se analizaron y programaron en el sistema se resuelve el modelo matemático de este módulo:

Relaciones Funcionales

$$L = A * \frac{b_A}{b_L} \quad \text{Ec. \# 1}$$

$$I = A * \frac{b_A}{b_I} \quad \text{Ec. \# 2}$$

$$F = A * \frac{b_A}{b_F} \quad \text{Ec. \# 3}$$

$$Z = A * \frac{b_A}{b_Z} \quad \text{Ec. \# 4}$$

$$J = A * \left(1 - \frac{b_A}{b_Z}\right) + W \quad \text{Ec. \# 5}$$

$$O = Ab_A \left(\frac{1}{b_I} - \frac{1}{b_L}\right) \quad \text{Ec. \# 6}$$

$$H = Ab_A \left(\frac{1}{b_L} - \frac{1}{b_Z}\right) \quad \text{Ec. \# 7}$$

$$b_I = \frac{1}{\left(\frac{1}{b_L} + \frac{1}{b_F} - \frac{1}{b_Z} + \frac{W}{Ab_A}\right)} \quad \text{Ec. \# 8}$$

$$C = A * \frac{(b_B - b_A)}{(b_B - b_{C^*} X_C)} \quad \text{Ec. \# 9}$$

$$B = A \frac{(b_A - b_{C^*} X_C)}{b_B - b_{C^*} X_C} \quad \text{Ec. \# 10}$$

$$G = \frac{C(X_C - 1) + J}{(1 - X_G)} \quad \text{Ec. \# 11}$$

$$E = C * X_C + G * X_G \quad \text{Ec. \# 12}$$

$$b_E = \frac{CX_C b_{C^*} + GX_G b_{G^*}}{E} \quad \text{Ec. \# 13}$$

Análisis de Pérdidas de sacarosa

PERDIDAS TOTALES

$$A \cdot P_A = J \cdot P_J + Z \cdot P_Z + \text{Perd}_T \quad \text{Ec. \# 14}$$

Perd_T = Pérdidas totales de los molinos

MOLINO # 1

$$A P_A = B P_B + C(1-X_C)P_C + C X_C P_{C^*} + \text{Perd}_1 \quad \text{Ec. \# 15}$$

Perd_1 = Pérdidas en el molino #1

$$C(1-B_C)P_C + G(1-X_G)P_G = J P_J + \text{Perd}_{1'}$$

Ec. # 16

$\text{Perd}_{1'}$ = Pérdidas en bombas y tamiz del Jugo

$$C X_C P_{C^*} + G X_G P_{G^*} = E P_E + \text{Perd}_{1''} \quad \text{Ec. \# 17}$$

$\text{Perd}_{1''}$ = Pérdidas en bombas y tamiz del Bagazo.

MOLINO # 2

$$B P_B + E P_E + O P_O = F P_F + G(1-X_G)P_G + G X_G P_{G^*} + \text{Perd}_2 \quad \text{Ec. \# 18}$$

Perd_2 = Pérdidas molino #2

MOLINO # 3

$$F P_F + H P_H = L P_L + O P_O + \text{Perd}_3 \quad \text{Ec. \# 19}$$

Perd_3 = Pérdidas molino # 3

MOLINO # 4

$$L P_L = Z P_Z + H P_H + \text{Perd}_4 \quad \text{Ec. \# 20}$$

Perd_4 = Pérdidas molino # 4

A través de la resolución de este grupo de ecuaciones se cumple con las necesidades planteadas por los usuarios finales.

3.2.1.2. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE PURIFICACIÓN Y CLARIFICACIÓN.

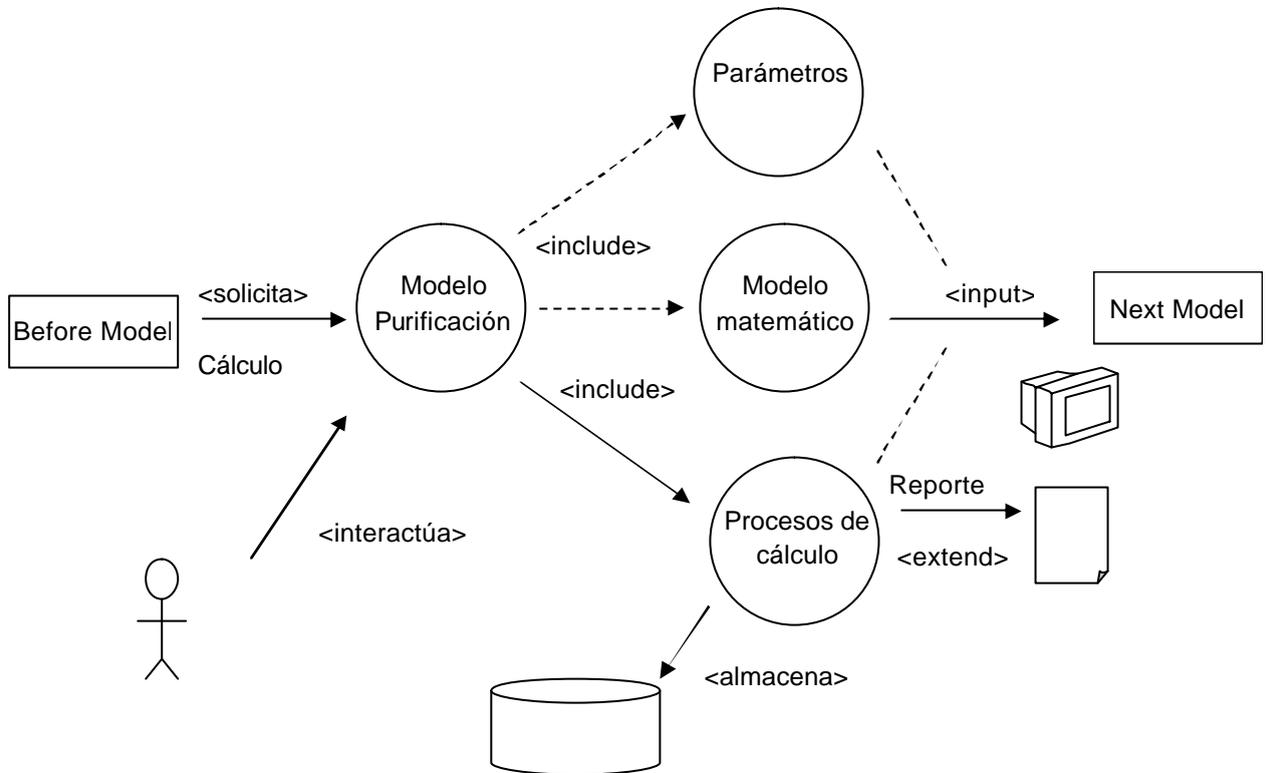


Figura # 3.5 Diagrama de Casos de Usos – Módulo de

En el módulo de purificación y clarificación se encontró los factores que se listan en la tabla # 3.3 con sus respectivos valores de ingreso en el sistema. Cada uno de los valores deben encontrarse en ese valor o por lo menos no desviarse en un porcentaje alto, ya que si existiesen diferencias considerables se produciría un exceso o defecto en el consumo de químicos, perjudicando a la producción ya que su dosificación debe ser exacta y/o los costos por consumo incrementarían; por lo tanto se convierte en una herramienta de utilidad al Jefe de Producción y a Bodega de materiales. .

FACTORES	VALOR
Kg antiincrustante / ton caña	0.002
Kg S/tcm	0.17
Conversión S -> So ₂	1
Baumé	9
Kg Cal / Kg agua	0.08
Kg cal / tcm	1.107
Kg NA ₂ CO ₃ / tcm	0.092
Floculante diluido/tcm	0.003
Fosfatos/tcm	0.008
Acido forsfórico/tcm	0.013
Corriente de bagazo	0.101

Tabla # 3.3: Factores del módulo de Purificación y Clarificación

La purificación y clarificación permiten obtener un jugo claro, en el anexo CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Procesos.pdf se puede encontrar información más completa del funcionamiento de estos módulos.

Con el siguiente grupo de ecuaciones que se analizaron y programaron en el sistema se resuelve el modelo matemático de este módulo:

Relaciones Funcionales:

$$R = \frac{(H_p - H_c)(J_E + F)q + B(H_B - H_C) - A(1 - H_C)}{(1 - B_R - qH_p - H_c(1 - q))} \quad \text{Ec. \# 21}$$

$$C = J_E + Fq + R(q-1) + B + A \quad \text{Ec. \# 22}$$

$$P = q(J_E + F + R) \quad \text{Ec. \# 23}$$

$$J_C = J_E + R + F - P \quad \text{Ec. \# 24}$$

$$\text{Pol } J_C = J_E * p_{JE} - C * p_C \quad \text{Ec. \# 25}$$

$$\text{Brix } J_C = (J_E * b_{JE}) + (\text{Acido Fos.} + \text{Fosf. De Sodio} + \text{Floc}) + (R * B_R) - (P * (1 - H_p)) \quad \text{Ec. \# 26}$$

A través de la resolución de este grupo de ecuaciones se cumple con las necesidades planteadas por los usuarios finales para este módulo.

3.2.1.3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE EVAPORACIÓN.

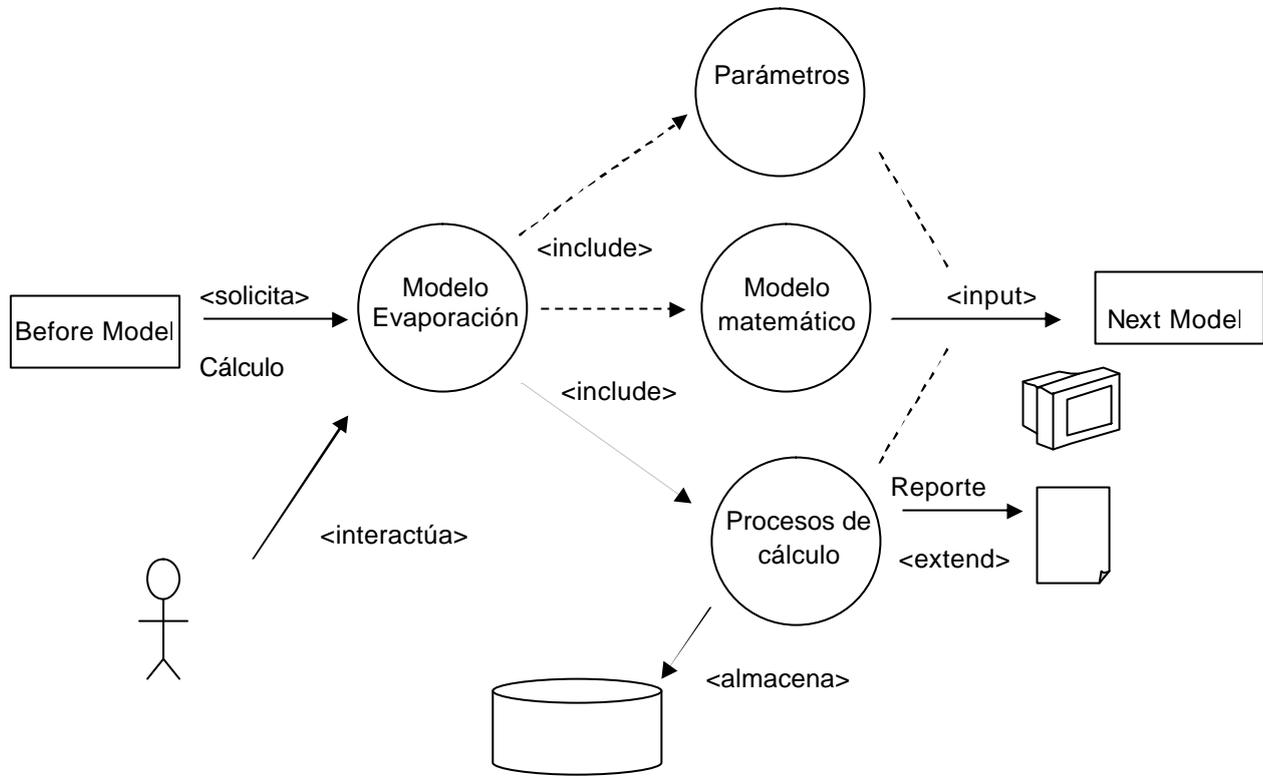


Figura # 3.6 Diagrama de Casos de Usos – Módulo de

En el análisis del módulo de evaporación se encontró los factores que se observan en la tabla # 3.4; los factores determinados son los que intervienen directamente en este proceso, ya que son valores de ingreso que la persona o el operador de evaporadores puede medir e ingresar en el sistema, y comprobar que resultados puede obtener si cambia significativamente algún factor involucrado en este proceso.

FACTORES	RANGOS
Brix a la entrada de PRE	13 a 18
Brix a la salida del PRE	28 a 33
Brix a la salida del 1 cuerpo	40 a 47
Brix a la salida del 2 cuerpo	44 a 54
Brix a la salida del 3 cuerpo	50 a 62
Brix a la salida del 4 cuerpo	56 a 72

Tabla # 3.4: Factores del módulo de evaporación

Además de los factores con sus respectivos rangos de la tabla # 3.4, también encontramos factores con valores exactos, que dependen de la cantidad para su dosificación, en la tabla # 3.5, podemos observar cuales son estos y sus valores.

FACTORES	VALOR
Flujo aire [m ³ /h]	423
Densidad [kg/m ³]	1.071
Flujo vapor [Ton/h]	0.032
Flujo de propeg [kg/tcm]	0.005
kg Agua dilución flocc/tcm	0.0012
Brix espumas	0.68
Pol espumas	0.01
Kg S/tcm	0.092
conversión S -->SO ₂	1

Tabla # 3.5: Factores con valores exactos

En el proceso también existen factores que no se pueden ingresar , ya que dependen de otros factores anteriores, por tal motivo, se realizó un modelo que simule este comportamiento y nos extraiga esos resultados, en el siguiente apartado se explica de forma amplia este comportamiento, pero en la tabla # 3.6 se pueden listar estos factores dependientes.

FACTORES DEPENDIENTES
Concentrado del Preevaporador
Evaporado del preevaporador
Jarabe a Tachos
Brix del Jarabe
Pol del Jarabe

Tabla # 3.6: Factores dependientes modulo de evaporación

Con todos estos factores se logra concentrar el jugo clarificado y evaporar el porcentaje de agua presente.

Las siguientes ecuaciones, permiten calcular los valores útiles para que el Jefe de producción tome decisiones a tiempo.

Relaciones Funcionales:

Cuerpo	Concentrado	Evaporado
Preevaporador	$C_P = J_C * \frac{(P_{JC} - P_{EP})}{(P_{CP} - P_{EP})}$ Ec. # 27	$E_P = J_C * \frac{(P_{CP} - P_{JC})}{(P_{CP} - P_{EP})}$ Ec. # 28
Primer	$C_1 = C_P * \frac{(P_{CP} - P_{E1})}{(P_{C1} - P_{E1})}$ Ec. # 29	$E_1 = C_P * \frac{(P_{C1} - P_{CP})}{(P_{C1} - P_{E1})}$ Ec. # 30
Segundo	$C_2 = C_1 * \frac{(P_{C1} - P_{E2})}{(P_{C2} - P_{E2})}$ Ec. # 31	$E_2 = C_1 * \frac{(P_{C2} - P_{C1})}{(P_{C2} - P_{E2})}$ Ec. # 32
Tercero	$C_3 = C_2 * \frac{(P_{C2} - P_{E3})}{(P_{C3} - P_{E3})}$ Ec. # 33	$E_3 = C_2 * \frac{(P_{C3} - P_{C2})}{(P_{C3} - P_{E3})}$ Ec. # 34
Cuarto	$C_4 = C_3 * \frac{(P_{C3} - P_{E4})}{(P_{C4} - P_{E4})}$ Ec. # 35	$E_3 = C_3 * \frac{(P_{C4} - P_{C3})}{(P_{C4} - P_{E4})}$ Ec. # 36

A este componente también se involucra la etapa de Clarificador de meladura, esta etapa o proceso permite preparar el Jarabe antes de que ingrese al componente discontinuo cristalización. Las ecuaciones que resuelven este modelo matemático son:

$$J = M + (\text{Azufre} * f) + \text{vapor} + (\text{Floculante} + \text{Tensoactivo} + \text{Agua}) - i. \quad \text{Ec. \# 37}$$

$$B_j = M * B_M + (\text{Azufre} * f) + (\text{Floculante} + \text{Tensoactivo}) - i * B_i. \quad \text{Ec. \# 38}$$

$$P_j = M * P_M - i * P_i \quad \text{Ec. \# 39}$$

3.2.1.4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE CRISTALIZACIÓN

Siguiendo con el proceso nos encontramos con la parte discontinua que lo conforman el módulo de Cristalización y Centrifugación, el módulo de cristalización permite almacenar las masas cocidas y pasar con la

consistencia debida al módulo de centrifugación, la cual se encarga de separar la sacarosa cristalizada de la miel y enviar al siguiente módulo.

En la tabla # 3.7 encontramos los factores de entrada de las masas cocidas, estos factores permitirán ingresar al usuario valores para poder controlar el comportamiento de la preparación de las masas cocidas.

FACTORES CRISTALIZACIÓN 1	FACTORES CRISTALIZACIÓN 2	FACTORES CRISTALIZACIÓN 3	FACTORES PIE DE TEMPLA
Densidad del magma MCA = Masa Cocida A. Refundidos brix de la masa cocida A brix de la miel A rica brix del Magma brix de refundidos pol de la masa cocida A pol de la miel A rica Pol del Magma Pol de refundidos	Masa cocida B Pie de Templa brix de la Masa Cocida B brix de la miel A pobre Brix de la miel A rica Brix del pie de templa Pol de la masa cocida B Pol de la miel A pobre Pol de la miel A rica Pol del pie de templa	Masa Cocida C Pie de Templa Brix de la masa cocida C Brix de la miel B Brix de la miel C Brix del pie de templa Pol de la masa cocida C Pol de la miel B Pol de la miel C Pol del pie de Templa	Pie de Templa Miel A rica Brix del pie de templa Brix de la miel A rica Brix de la miel A pobre Brix de la miel B Pol del pie de Templa Pol de la miel A rica Pol de la miel A pobre Pol de la miel B

Tabla # 3.7: Factores del módulo de cristalización

Las siguientes ecuaciones, permiten calcular el modelo matemático de cristalización:

Relaciones funcionales:

$$\frac{M}{r_M} + \frac{J'}{r_J} = 6 [m^3] \quad \text{Ec. \# 40}$$

$$M \cdot B_M + J' \cdot B_J = (M + J') \cdot B_{MJ} \quad \text{Ec. \# 41}$$

Estas fórmulas permiten establecer el nivel de sólidos en los Tachos y se repiten las mismas de acuerdo al tipo de Masa que se está haciendo:

Sólidos en el Tacho:

$$MCA \cdot B_{MCA} = J \cdot B_J + m_{Ar} \cdot B_{mAr} + (J' \cdot B_J + M \cdot B_M) + R \cdot B_R \quad \text{Ec. \# 42}$$

Azúcar en el Tacho:

$$MCA \cdot P_{MCA} = J \cdot P_J + m_{Ar} \cdot P_{mAr} + (J' \cdot P_J + M \cdot P_M) + R \cdot P_R \quad \text{Ec. \# 43}$$

$$E_A = ((J'+M) + (m_{Ar} + J + R)) - MCA \quad \text{Ec. \# 44}$$

$$\text{Agua añadida} = MCA \cdot \left(\frac{B_{MCAT}}{B_{MCAC}} - 1 \right) \quad \text{Ec. \# 45}$$

Estas ecuaciones resuelven el problema de establecer el # de masas A; B; C en el día:

$$XA = \frac{\text{Ton } J \text{ disponible / dia}}{\text{Ton } J \text{ requerido / MCA}} \quad \text{Ec. \# 56}$$

$$XB = \frac{\frac{m_{Ap}}{MCA} XA - \frac{m_{Ap}}{PIE} XP}{m_{Ap} \text{ requerido / MCB}} \quad \text{Ec. \# 57}$$

$$XC = \frac{\frac{m_B}{MCB} XB - \frac{m_B}{PIE} XP}{m_B \text{ requerido / MCC}} \quad \text{Ec. \# 58}$$

$$XP = \frac{XB + XC}{3} \quad \text{Ec. \# 59}$$

3.2.1.5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - CENTRIFUGACIÓN.

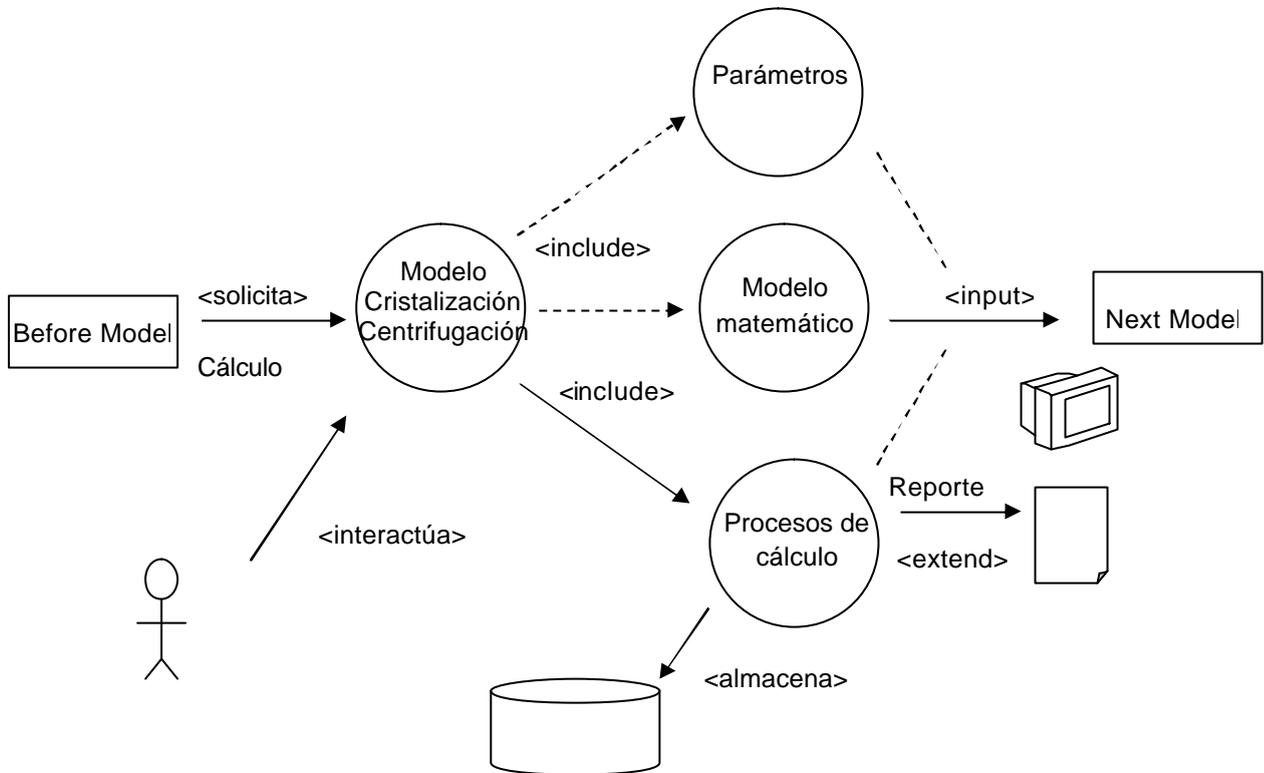


Figura # 3.6 Diagrama de Casos de Usos – Módulo de Cristalización - Centrifugación

El módulo de centrifugación ayuda a calcular cuanto de azúcar se va extrayendo de las masas cocidas, en la tabla # 3.8 se listan los factores que son posibles de medir en el laboratorio y sirven de entradas al proceso.

FACTORES CENTRÍFUGA 1	FACTORES CENTRÍFUGA 2	FACTORES CENTRÍFUGA 3
✓ MCA que sale cristalizador	✓ MCB que sale del cristalizador ✓ Pol de la MC de B que sale del cristalizador ✓ Pol de la miel B ✓ Pol del magma de B	✓ MCC que sale del cristalizador ✓ Pol de la MCC que se descarga del cristalizador ✓ Pol de la miel C ✓ Pol del magma C

Tabla # 3.8: Factores del módulo de Centrifugación

De cada una de las centrifugaciones realizadas, solamente en el de la masa cocida A se obtiene el azúcar o sacarosa que pasa al módulo del secado, las

otras dos centrifugaciones sirven para dar más consistencia a las mieles o magmas.

Estas son las ecuaciones que resuelven el módulo de Centrifugación:

Relaciones Funcionales Centrífuga 1

Aplicando la regla del brazo de Palanca se tiene:

$$m_A = \frac{M_{CAC} * (P_{ZA} - P_{MCAC})}{P_{ZA} - P_{mA}} \quad \text{Ec. \# 60}$$

$$Z_A = \frac{M_{CAC} * (P_{MCAC} - P_{mA})}{P_{ZA} - P_{mA}} \quad \text{Ec. \# 61}$$

$$m_{Ap} = \frac{m_A * (P_{MAr} - P_{MA})}{P_{MAr} - P_{MAp}} \quad \text{Ec. \# 62}$$

$$m_{Ar} = \frac{m_A * (P_{MA} - P_{MAp})}{P_{MAr} - P_{MAp}} \quad \text{Ec. \# 63}$$

Relaciones Funcionales Centrífuga 2

$$m_B = \frac{M_{CBC} * (P_{ZB} - P_{MCBC})}{P_{ZB} - P_{mB}} \quad \text{Ec. \# 64}$$

$$Z_B = \frac{M_{CBC} * (P_{MCBC} - P_{mB})}{P_{ZB} - P_{mB}} \quad \text{Ec. \# 65}$$

Relaciones Funcionales Centrífuga 3

$$m_C = \frac{M_{CCC} * (P_{ZC} - P_{MCCC})}{P_{ZC} - P_{mC}} \quad \text{Ec. \# 66}$$

$$Z_C = \frac{M_{CCC} * (P_{MCCC} - P_{mC})}{P_{ZC} - P_{mC}} \quad \text{Ec. \# 67}$$

3.2.1.6. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE SECADO

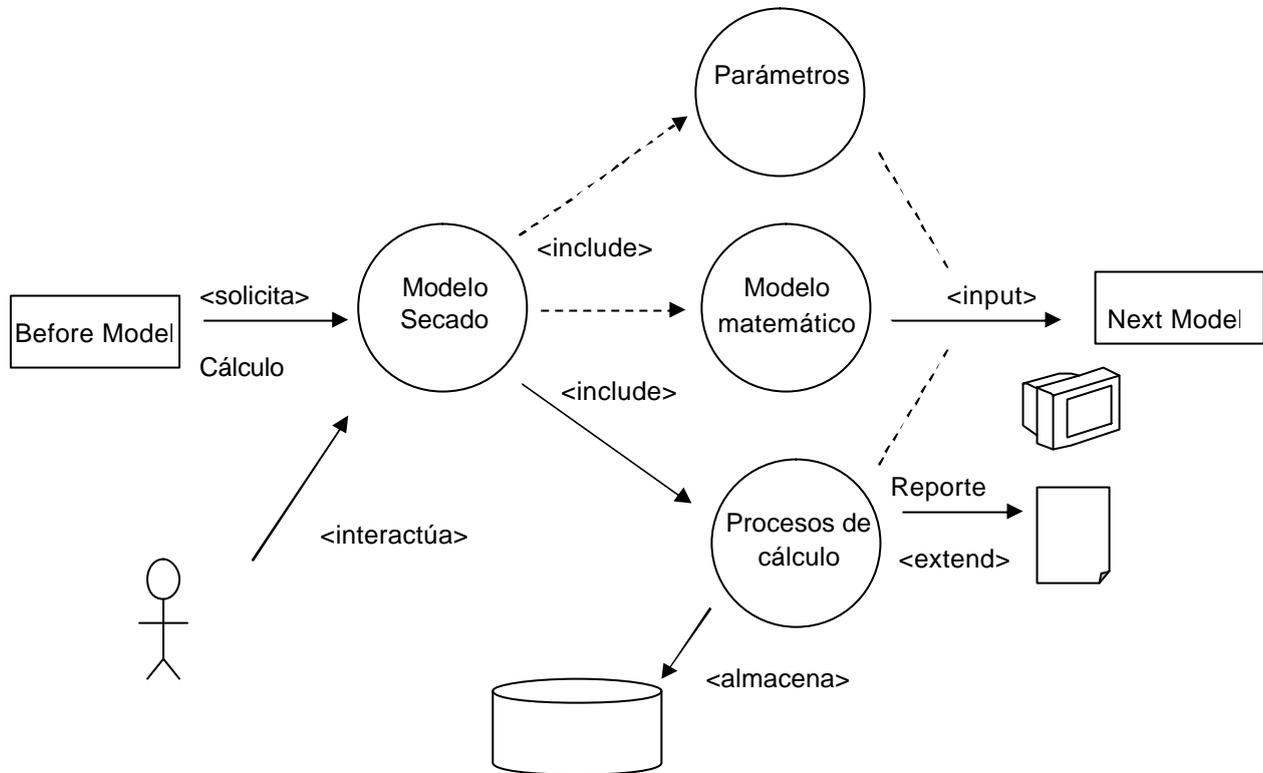


Figura # 3.7 Diagrama de Casos de Usos – Módulo de Secado

En el secado el modelo matemático debe mostrar cuanto de azúcar se obtiene y cuanto de azúcar se recircula al módulo de cristalización.

En la tabla # 3.9 se puede observar cuales son los factores que participan e intervienen en el cálculo

FACTORES CALENTAMIENTO	FACTORES ENFRIAMIENTO	FACTORES SALIDA
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Humedad másica del aire para calentamiento ✓ Entalpía del aire para calentamiento ✓ Azúcar que se alimenta al secador ✓ Humedad del azúcar que se alimenta al secador ✓ Temperatura del azúcar que se alimenta al secador 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Humedad másica del aire para enfriamiento ✓ Entalpía del aire para enfriamiento ✓ Humedad del azúcar que sale del secador ✓ Temperatura del azúcar que sale del secador 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evacuación de aire o aire de salida ✓ Humedad másica del aire de salida (mezcla) ✓ Entalpía del aire de salida (mezcla) ✓ Finos que van al ciclón

Tabla # 3.9: Factores del módulo de secado

Estas son las ecuaciones que resuelven el proceso de Secado:

$$Z_E = Z_C * \frac{1 - H_{Zc}}{1 - H_{Ze}} - Z_{EC} \quad \text{Ec. \# 68}$$

$$E * Y_E + C * Y_C + W_{Ev} = (E + C) * Y_M \quad \text{Ec. \# 69}$$

$$W_{EV} = Z_C * \left(1 - \frac{1 - H_{Zc}}{1 - H_{Ze}} \right) \quad \text{Ec. \# 70}$$

$$E * H_E + C * H_C + Z_C * (T * Cp)_{ZC} = (E + C) * H_M + Z_E * (T * Cp)_{ZE} \quad \text{Ec. \# 71}$$

El sistema simulado considera al tiempo perdido como nulo, es decir que los análisis de desarrollo se realizaron cuando no existió ninguna parada del proceso, además se debe resaltar que cada módulo se encuentra ligado del módulo siguiente, es decir los datos de salida de un módulo sirven de entrada al siguiente, esto sucede hasta el módulo de evaporación, mientras que en la parte de cristalización y centrifugación se utilizan entradas discontinuas, es decir que las salidas de los evaporadores sirven para posteriores utilizaciones en este proceso.

Con esta información se plantearon las funciones necesarias con código fuente en Visual Basic para resolver el Modelo Matemático compuesto por 71 ecuaciones producto del modelado de cada uno de las Unidades Operativas de Proceso o Módulos de Producción.

3.2.2. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

La base de datos se utiliza para almacenar o registrar los datos de entrada y los de salida del sistema simulador, estos datos sirven de soporte y referencia para optimizar el rendimiento de producción del IANCEM.

La base de datos almacena la siguiente información:

a) La entidad *parametros* permite almacenar los datos generales de producción tales como:

- ❖ Fecha de Prueba
- ❖ Hora de Prueba
- ❖ El día de Prueba
- ❖ Flujo de Imbibición del día
- ❖ Humedad de la Caña a moler
- ❖ Pol de la caña a moler
- ❖ Tiempo perdido en el proceso
- ❖ Toneladas de caña a moler por día
- ❖ Fracción de bagazo en la mezcla bagazo/jugo

b) La entidad *Kgfibra* permite almacenar los valores de los *kg de fibra humeda/kg de bagazo* de las corrientes del sistema molienda

c) La entidad *kgfibrakgbagazo*, almacena los *Kg de fibra seca /kg de bagazo* de la caña en la extracción del jugo

d) La entidad *corrientesm* almacena la *Pol de los flujos del la caña* del sistema molienda

e) La entidad *flujosmolinos* almacena los *Flujos en Toneladas / hora* del sistema molienda

f) La entidad *molinos* almacena las *perdidas de sacarosa* o azúcar en el sistema molinos

g) La entidad *sulfitacion* almacena los datos siguientes:

- ❖ Kg de azufre aplicados por cada Ton de caña molida
- ❖ Conversión de azufre en SO₂

h) La entidad *encalado* almacena:

- ❖ Baume
- ❖ Densidad de lechada
- ❖ Kg de cal aplicado por Kg agua
- ❖ Kg de cal por tonelada de caña molida
- ❖ Kf Na₂SO₃ por tonelada de caña molida

i) La entidad *clarificación* almacena lo siguiente:

- ❖ Kg de ácido fosfórico por tonelada de caña molida
- ❖ Kg de fosfato de sodio por tonelada de caña molida
- ❖ Kg floculante por tonelada de caña molida

j) La entidad *filtracachaza* almacena:

- ❖ Tonelada de bagacillo por hora
- ❖ Tonelada de agua lavada por hora

k) La entidad *bsalidapre* almacena la información del brix de salida del preevaporador y de los cuatro cuerpos del proceso de evaporación.

l) La entidad *clarificadormeladura* almacena la información siguiente:

- ❖ Kg de propeg por tonelada de caña molida
- ❖ Kg de floculante por tonelada de caña molida
- ❖ Brix de la espuma de la meladura
- ❖ Pol de la espuma de la meladura
- ❖ Kg de azufre por tonelada de caña molida
- ❖ Conversión Azufre en SO₂

m) La entidad *cantazucarrefundida* contiene la siguiente información:

- ❖ Kg de azúcar gruesa por masa
- ❖ Kg de azúcar fina por masa
- ❖ Brix del azúcar fundido

- ❖ Tonelada de Miel A sobrante
- ❖ Brix de la miel A rica sobrante
- ❖ Toneladas de magma de C sobrante
- ❖ Brix de los refundidos

n) La entidad *augmentospureza* almacena:

- ❖ Jarabe de la masa cocida A
- ❖ Miel A pobre de la masa cocida B
- ❖ Miel B de la masa cocida C

ñ) La entidad *caidaspureza* almacena:

- ❖ Miel A rica de la masa cocida A
- ❖ Miel A pobre de la masa cocida A
- ❖ Miel B de la masa cocida B
- ❖ Miel C de la masa cocida C

o) La entidad *crystalización* almacena el brix de las masas cocidas A, B y C, pie de temple, azúcar, mieles de cada masa, magmas de cada masa

p) La entidad *crystalizaciónprz* almacena la pureza del azúcar, pie de temple y magmas de la masa B y C

q) La entidad *crystalizacióndensidad* almacena las densidades de las masas cocidas A, B y C, pie de temple, azúcar, mieles de cada masa, magmas de cada masa

r) La entidad *masacocidaA* almacena:

- ❖ Volumen del tacho en hectolitros
- ❖ Datos del comportamiento de la miel en la centrífuga
- ❖ Pol de la mezcla

s) La entidad *masacocidaB* almacena:

- ❖ Volumen del Tacho en hectolitros
- ❖ Dilución de mieles
- ❖ Entradas de pie de templa y miel B
- ❖ Datos de comportamiento de la miel B en la centrífuga

t) La entidad *masacocidaC* almacena:

- ❖ Volumen del tacho en hectolitros
- ❖ Pie de templa
- ❖ Brix miel C en la centrífuga
- ❖ Dilución de mieles

u) La entidad *pietempla* almacena:

- ❖ Volumen del tacho en hectolitros
- ❖ Semilla
- ❖ Miel A rica
- ❖ Agua añadida para romper el grano

v) La entidad secadora almacena:

- ❖ Toneladas de agua añadida
- ❖ Kilogramos de gruesos y finos de azúcar
- ❖ Brix del azúcar
- ❖ Humedad másica del aire para calentamiento
- ❖ Entalpía del aire para calentamiento
- ❖ Azúcar que se alimenta al secador
- ❖ Humedad del azúcar que se alimenta al secador
- ❖ Temperatura del azúcar que se alimenta al secador
- ❖ Humedad másica del aire para enfriamiento
- ❖ Entalpía del aire para enfriamiento
- ❖ Humedad del azúcar que sale del secador
- ❖ Temperatura del azúcar que sale del secador
- ❖ Humedad del aire de salida
- ❖ Entalpía del aire de salida (mezcla)

Cada una de estas entidades contiene otros campos adicionales en donde se registran los datos calculados por el modelo de simulación de cada uno de los procesos.

A continuación se puede observar los diagramas de la base de datos del aplicativo

3.2.3. DISEÑO DE PANTALLAS DE ENTRADA Y SALIDA

Para realizar el diseño lógico del sistema simulador, se realizó procedimientos precisos para la captura de datos o entradas efectivas para el sistema, estas presentaciones se estructuró considerando el orden de los módulos que intervienen en este diseño

El programa esta conformado por una pantalla de presentación, seguido de una ventana de autenticación, esta ventan permite asignar las propiedades correspondientes a cada uno de los dos usuarios, una vez dentro del sistema simulador se debe seguir el siguiente orden para que no exista información fuera de la realidad del proceso:

1. Molienda
2. Purificación
3. Clarificación
4. Evaporación
5. Cristalización-Centrifugación
 - Masa Cocida A
 - Masa Cocida B
 - Masa Cocida C
 - Pie de Templá
6. Secador
7. Reportes

La pantalla de informes se la puede utilizar en cualquier orden, debido a que los datos que se obtiene son extraídos de la base de datos.

En la figura # 3.8. se puede observar las pantallas de entrada y salida de información del sistema simulador

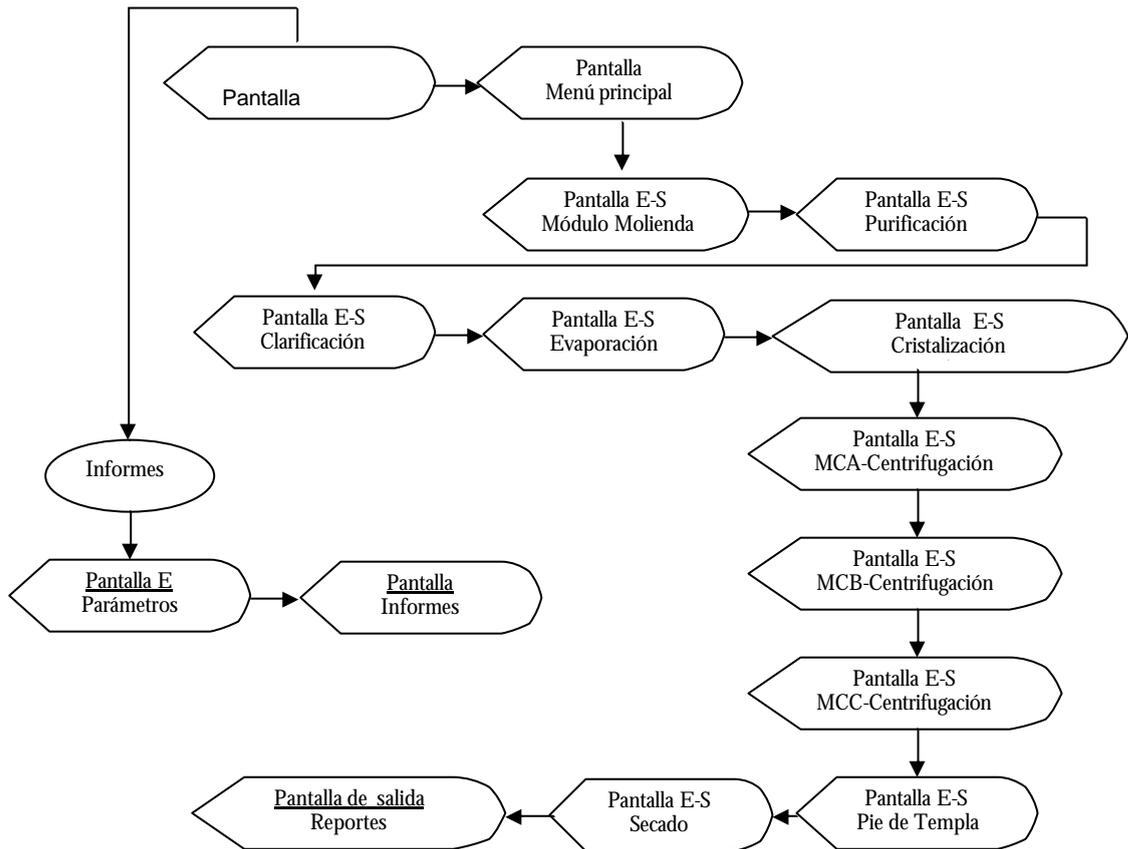


Figura # 3.8. Pantallas de Entrada y salida del Sistema Simulador

3.3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

El desarrollo del sistema se encuentra detallado en el CD de anexos CD_TESIS:\Tesis\Manuales\Técnico.pdf.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SIMULADOR

La implementación se lo realizó en el departamento de producción del IANCEM, se realizó las pruebas y validaciones correspondientes con la ayuda de los profesionales de esa área, del laboratorio y el departamento de instrumentación.

3.5. DOCUMENTACIÓN

La documentación del sistema simulador se encuentra almacenada en el CD de anexos en la dirección, CD_TESIS:\Tesis\Manuales\Usuario.pdf

CAPITULO III



CONTENIDOS

DESARROLLO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN

- ❖ Análisis del sistema
 - ❖ Análisis de requerimientos
 - ❖ Definición del sistema
 - ❖ Adquisición y recopilación de información
 - ❖ Definición de procedimientos
- ❖ Diseño del sistema
 - ❖ Simulación a través de modelos matemáticos
 - ❖ Diseño de la base de datos
 - ❖ Diseño de pantallas de entrada y salida
- ❖ Desarrollo de la aplicación
- ❖ Implementación de sistema simulador
- ❖ Documentación

PRUEBA DE RESULTADOS DEL SISTEMA SIMULADOR

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo nos hemos centrado en la prueba de resultados del Sistema Simulador que utiliza un modelo para resolver el proceso de producción en el IANCEM. Para el análisis se realizaron varias corridas del sistema y se compararon con los resultados obtenidos del proceso real, bajo parámetros y variables de entrada iguales para ambos casos. Con los datos obtenidos del proceso de simulación por computadora comparando con los valores del proceso real se calcula el porcentaje de error existente. A partir de esta información, es posible determinar si se acepta o rechaza el modelo matemático aplicado en el sistema de simulación por computadora.

La validación se ajustó a los requerimientos del personal de producción o cliente asegurándose que el simulador cumpla las necesidades del usuario, las pruebas se realizaron en los módulos que las personas expertas sugirieron para poder determinar la veracidad de los datos que arroja el sistema, datos fundamentales para la obtención de resultados de producción eficientes.

4.2. PRUEBAS DEL SISTEMA SIMULADOR

Para realizar la prueba de los resultados del sistema simulador se utilizó los datos de los reportes diarios del laboratorio durante aproximadamente un período de seis meses, con la información recolectada se realizó la selección de las variables que serían sometidas a comprobación de cada uno de los módulos del sistema, variables de salida del sistema simulador al aplicarse el modelo matemático correspondiente a cada uno de sus módulos.

El sistema se validó para los seis días de molienda que realiza en ingenio azucarero, esto se debió a que la maquinaria sufre varios cambios por el proceso, es decir; existen cambios de temperatura, fugas de vapor, derrames de jugos, etc.

El sistema debe manipularlo una persona que conoce del funcionamiento del proceso azucarero, para que los valores que se ingrese al sistema no se salgan del rango que en el proceso real podrían presentarse y asumirse.

4.2.1. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

La verificación nos permite asegurarnos que el modelo revele la información que desea el experimentador o persona experta, mientras que la validación logrará comprobar la correspondencia entre el desempeño del modelo y el desempeño del sistema real, el sistema simulador desarrollado cumple a satisfacción con las especificaciones de las personas expertas o experimentadores, ya que se lo realizó conjuntamente con el personal involucrado directamente con el proceso de producción de azúcar, además las variables tanto de entrada como salida se plasmó con la ayuda del mismo grupo de trabajo, es por ello que el sistema cumple con las necesidades reales del área de producción. La validación se realizó tomando en cuenta las recomendaciones del personal calificado del área de producción, en la tabla # 4.1 se puede observar las variables que se llevarán a esta validación, además se debe aclarar que para este procedimiento se considerará un margen de error de un 5 % para cada análisis en cada uno de los seis días de producción, ya que un modelo de simulación existe un margen de error debido a que no se puede considerar todas las características que participan en el proceso, de hacerlo sería muy difícil su resolución.

VARIABLES DEL PROCESO DE PRODUCCION
Jugo Mixto
Pol Bagazo
Pol Melaza
Melaza Producida
MCA Elaboradas / día
MCB Elaboradas / día
MCC Elaboradas / día
PT Elaborados / día
Azúcar a silos
Rendimiento

Tabla · # 4.1. Variables del proceso de producción para la prueba de resultados

Para la validación de los flujos de las variables del cuadro # 4.1 se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|\text{Valor experimental} - \text{Valor aplicando el modelo}|}{\text{Valor experimental}} * 100\% \quad F.4.1.$$

Esta fórmula permite calcular el porcentaje de error que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, a continuación se calculará los porcentajes de desviaciones para las variables que se muestran en la tabla # 4.1 para los seis días de producción semanal del IANCEM.

4.2.1.1. JUGO MIXTO

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día primero

Para la validación del jugo mixto se utiliza la información de la tabla 4.1 que se muestra a continuación:

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	35,13
Valor Modelo	35,69

Tabla # 4.1. Cuadro Comparativo Jugo Mixto

Los resultados obtenidos del valor del modelo que se muestra en la tabla # 4.1 se determinó utilizando el módulo de molienda del sistema simulador como se puede observar en el gráfico # 4.1, mientras que el flujo del valor experimental se lo extrajo de una media aritmética aplicada a los flujos de muestra recopilados del Sistema Foxboro del IANCEM.

En la tabla # 4.2 se puede observar los datos de entrada para calcular el jugo mixto del primer día de molienda, cabe resaltar que estos datos son producto de una media aritmética aplicada a la recopilación de información de aproximadamente seis meses.

Datos de entrada	Valores
día	1
Flujo de imbibición	6 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,06

Tabla # 4.2. Datos de entrada al módulo de molienda para el día primero

La fórmula que se aplicó para calcular el porcentaje de error es la siguiente:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|\text{Valor experimental} - \text{Valor aplicando el modelo}|}{\text{Valor experimental}} * 100\% \quad F.4.1.$$

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|35,13 - 35,69|}{35,13} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,59 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,59 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día segundo

En la tabla # 4.3 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día segundo.

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	34,79
Valor Modelo	35,14

Tabla # 4.3. Valores del Jugo Mixto

El valor experimental se tomo de la computadora que posee el programa Foxboro del departamento de producción, mientras que para encontrar el valor del modelo se utilizó los flujos de entrada que se muestran en la tabla # 4.4, flujos que corresponden a un análisis experimental del comportamiento en el proceso de molienda del día segundo de la semana.

Datos de entrada	Valores
día	2
Flujo de imbibición	5.5 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,05

Tabla # 4.4. Datos de entrada al módulo de molienda para el día segundo

La fórmula que se aplicó para calcular el porcentaje de error es la F.4.1

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|34,79 - 35,14|}{34,79} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,01 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,01 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día tercero

En la tabla # 4.5 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día tercero.

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	34,01
Valor Modelo	34,74

Tabla # 4.5. Valores del Jugo Mixto

En la tabla # 4.6 se encuentran los datos de entrada para obtener el valor del modelo.

Datos de entrada	Valores
día	3
Flujo de imbibición	4,9 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,07

Tabla # 4.6. Datos de entrada al módulo de molienda para el día cuarto

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|34,01 - 34,74|}{34,01} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,14 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,14 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día cuarto

En la tabla # 4.7 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día cuarto.

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	33,69
Valor Modelo	33,51

Tabla # 4.7. Valores del Jugo Mixto

En la tabla # 4.8 se encuentran los datos de entrada para obtener el valor del modelo.

Datos de entrada	Valores
día	4
Flujo de imbibición	4,5 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,03

Tabla # 4.8. Datos de entrada al módulo de molienda para el día cuarto

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|33,69 - 33,51|}{33,69} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,53 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,53 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día quinto

En la tabla -# 4.9 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día quinto.

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	33,20
Valor Modelo	33,02

Tabla # 4.9. Valores del Jugo Mixto

En la tabla # 4.10 se encuentran los datos de entrada para obtener el valor del modelo.

Datos de entrada	Valores
Día	5
Flujo de imbibición	3,8 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,04

Tabla # 4.10. Datos de entrada al módulo de molienda para el día quinto

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|33,20 - 33,02|}{33,20} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,54 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,54 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Jugo Mixto para el día sexto

En la tabla -# 4.9 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día sexto.

Datos	Flujo Másico [Ton/h]
Valor Experimental	33,08
Valor Modelo	32,92

Tabla # 4.9. Valores del Jugo Mixto

En la tabla # 4.10 se encuentran los datos de entrada para obtener el valor del modelo.

Datos de entrada	Valores
Día	5
Flujo de imbibición	3,28 m ³ /h
Toneladas Caña x día	1000 Ton/día
Tiempo perdido	0
Pol de la Caña	14,17

Tabla # 4.10. Datos de entrada al módulo de molienda para el día sexto

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|33,08 - 32,92|}{33,08} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,48 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,48 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de la variable Jugo Mixto

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %, por lo tanto este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.1 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.2. se muestran los porcentajes de error para cada

uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

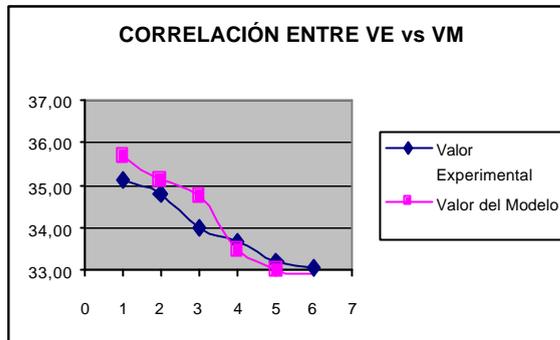


Grafico # 4.1. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo del jugo mixto

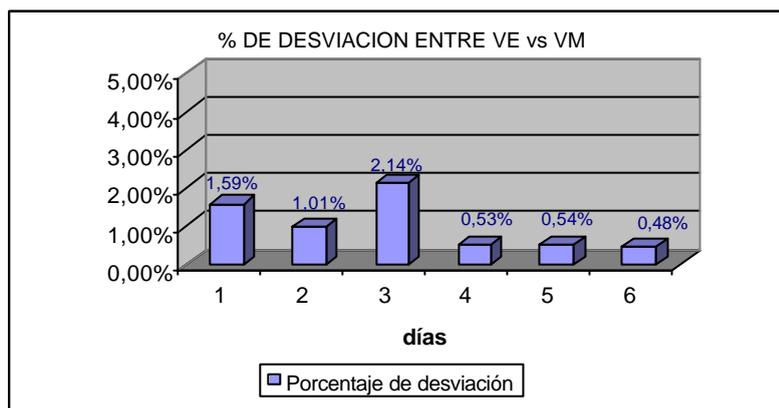


Grafico # 4.2. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo del jugo mixto

4.2.1.2. POL DE BAGAZO

Para obtener el valor de la Pol del bagazo desde el día primero hasta el sexto día en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el CD de anexos en la dirección, CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Datos.xls.

A continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el día primero

Para la validación de la Pol del bagazo se utiliza la información de la tabla 4.11 que se muestra a continuación:

Datos	Pol Bagazo %
Valor Experimental	6,05
Valor Modelo	6,35

Tabla # 4.11. Cuadro Comparativo Pol Bagazo

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,21 - 6,35|}{6,21} * 100\%$$

Porcentaje de error = 2,25 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,25 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el segundo día

En la tabla # 4.12 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al segundo día.

Datos	Pol Bagazo %
Valor Experimental	6,12
Valor Modelo	6,28

Tabla # 4.12. Valores de la Pol Bagazo

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,12 - 6,28|}{6,12} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,61 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,61 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el tercer día

En la tabla # 4.13 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al tercer día.

Datos	Pol Bagazo
Valor Experimental	6,13
Valor Modelo	6,39

Tabla # 4.13. Valores de la Pol Bagazo

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,18 - 6,39|}{6,18} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 3,04 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 3,04 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el cuarto día

En la tabla # 4.14 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día cuarto.

Datos	Pol Bagazo %
Valor Experimental	6,11
Valor Modelo	6,17

Tabla # 4.14. Valores de la Pol Bagazo

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,11 - 6,17|}{6,11} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,98 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,98 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el quinto día

En la tabla # 4.15 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día quinto.

Datos	Pol Bagazo %
Valor Experimental	6,12
Valor Modelo	6,15

Tabla # 4.14. Valores de la Pol Bagazo

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,12 - 6,15|}{6,12} * 100\%$$

Porcentaje de error =0,49 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,49 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Bagazo para el sexto día

En la tabla # 4.15 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día sexto.

Datos	Pol Bagazo %
Valor Experimental	6,10
Valor Modelo	7,01

Tabla # 4.15. Valores de la Pol Bagazo

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,87 - 7,01|}{6,20} * 100\%$$

Porcentaje de error =2,04 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,04 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de la variable Pol Bagazo

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %, por lo tanto este valor esta

contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.3 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.4. se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

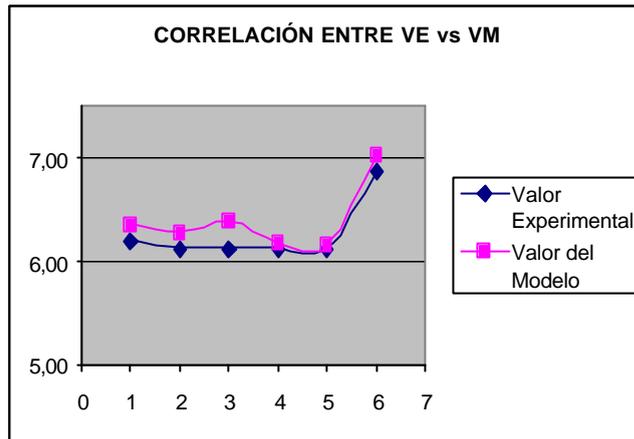


Grafico # 4.1. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Pol Bagazo

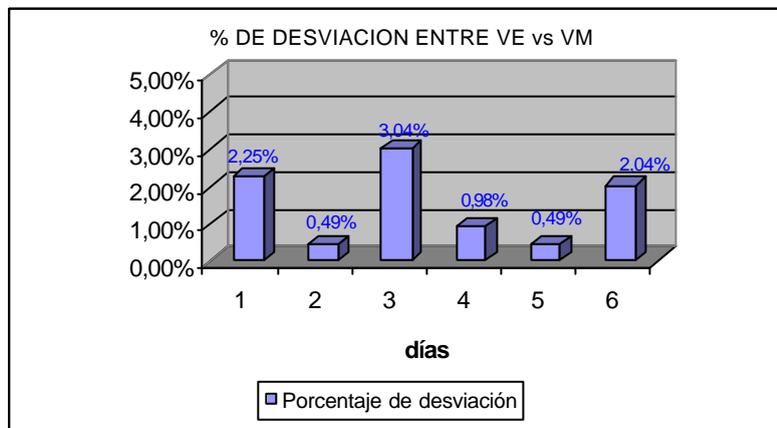


Grafico #4.1.% de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Pol Bagazo

4.2.1.3. POL CACHAZA

Para obtener el valor de la Pol de la cachaza por día (seis días considerados) en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el anexo 4.1. a continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el día primero

Para la validación de la Pol de la cachaza se utiliza la información de la tabla 4.16 que se muestra a continuación:

Datos	Pol Cachaza %
Valor Experimental	8,35
Valor Modelo	8,55

Tabla # 4.16. Cuadro Comparativo Pol Cachaza

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,35 - 8,55|}{8,35} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,39 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,39 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el segundo día

En la tabla # 4.17 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al segundo día.

Datos	Pol Cachaza %
Valor Experimental	8,69
Valor Modelo	8,97

Tabla # 4.17. Valores de la Pol Cachaza

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,73 - 8,97|}{8,73} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,75 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,75 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el tercer día

En la tabla # 4.18 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al tercer día.

Datos	Pol Cachaza
Valor Experimental	9,44
Valor Modelo	9,71

Tabla # 4.18. Valores de la Pol Cachaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|9,44 - 9,71|}{9,44} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,86 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,86 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el cuarto día

En la tabla -# 4.19 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día cuarto.

Datos	Pol Cachaza %
Valor Experimental	10,01
Valor Modelo	10,36

Tabla # 4.19. Valores de la Pol Cachaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|10,21 - 10,36|}{10,21} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,47 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,47 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el quinto día

En la tabla -# 4.20 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día quinto.

Datos	Pol Cachaza %
Valor Experimental	11,77
Valor Modelo	11,89

Tabla # 4.20. Valores de la Pol Cachaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|11,77 - 11,89|}{11,77} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,01 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,01 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Pol Cachaza para el sexto día

En la tabla # 4.21 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día sexto.

Datos	Pol Cachaza %
Valor Experimental	13,33
Valor Modelo	13,47

Tabla # 4.21. Valores de la cachaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|13,33 - 13,47|}{13,33} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,05 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,05 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de la variable Pol Bagazo

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que, el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %; por lo tanto, este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.5 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.6. se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

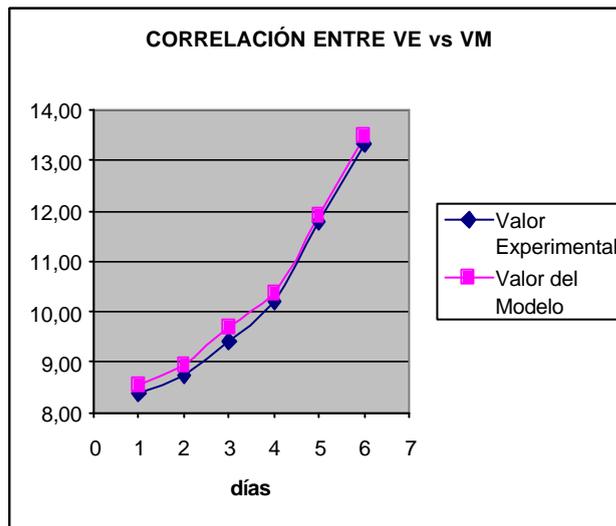


Grafico # 4.4. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Pol Cachaza

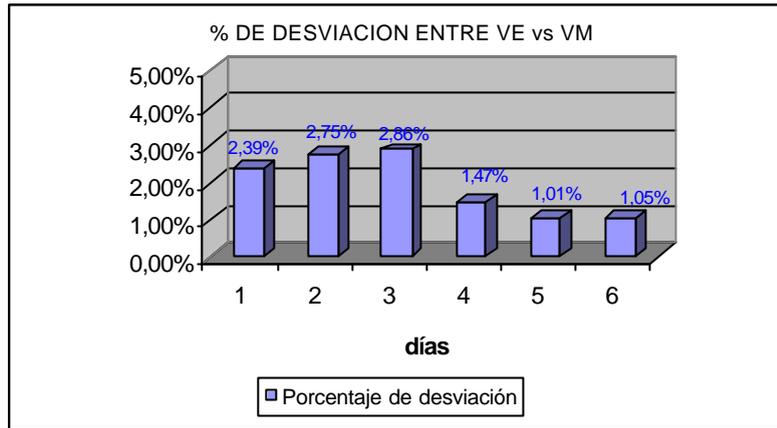


Grafico # 4.5.% de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Pol Cachaza

4.2.1.4. MELAZA (Ton azúcar/día)

Para obtener el valor de la Melaza por día (seis días considerados) en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el anexo 4.1. a continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación del resultado de la variable Melaza para el día primero

Para la validación de la Melaza se utiliza la información de la tabla 4.21 que se muestra a continuación:

Datos	Melaza (Ton azúcar/día)
Valor Experimental	8,01
Valor Modelo	8,12

Tabla # 4.21. Cuadro Comparativo Melaza

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,01 - 8,12|}{8,01} * 100\%$$

Porcentaje de error = 1,37 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,37 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Melaza para el segundo día

En la tabla # 4.22 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al segundo día.

Datos	Melaza (Ton azúcar/día)
Valor Experimental	9,19
Valor Modelo	9,27

Tabla # 4.17. Valores de la Melaza

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|9,19 - 9,27|}{9,19} * 100\%$$

Porcentaje de error = 0,87 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,87 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Melaza para el tercer día

En la tabla # 4.23 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al tercer día.

Datos	Melaza
Valor Experimental	10,41
Valor Modelo	10,55

Tabla # 4.23. Valores de la Melaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|10,41 - 10,55|}{10,41} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,34 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,34 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Melaza para el cuarto día

En la tabla # 4.24 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día cuarto.

Datos	Melaza (Ton azúcar/día)
Valor Experimental	7,41
Valor Modelo	7,54

Tabla # 4.24. Valores de la Melaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|7,41 - 7,54|}{7,41} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,75 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,75 % se encuentra dentro del rango de datos confiables .

Validación del resultado de la variable Melaza para el quinto día

En la tabla # 4.25 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día quinto.

Datos	Melaza (Ton azúcar/día)
Valor Experimental	6,81
Valor Modelo	6,92

Tabla # 4.25. Valores de la Melaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,81 - 6,92|}{6,81} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,62 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,62 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable Melaza para el sexto día

En la tabla # 4.26 se puede observar los datos obtenidos correspondientes al día sexto.

Datos	Melaza (Ton azúcar/día)
Valor Experimental	8,09
Valor Modelo	8,18

Tabla # 4.26. Valores de la Melaza

Aplicando la fórmula F.4.1 tenemos el siguiente porcentaje:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,09 - 8,18|}{8,09} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,11 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,11 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de la variable Melaza

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que, el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %; por lo tanto, este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.7 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.8. se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

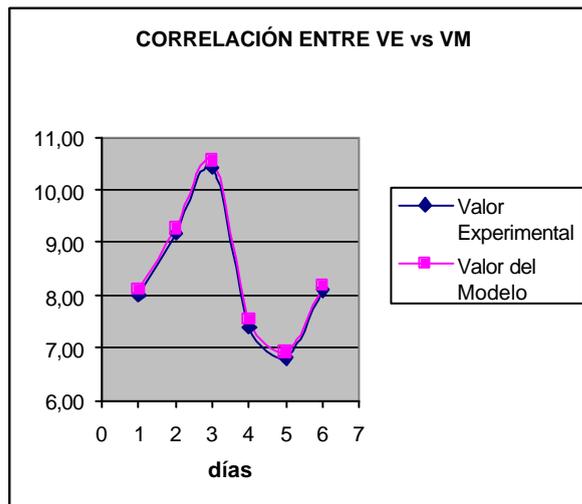


Grafico # 4.7. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Melaza

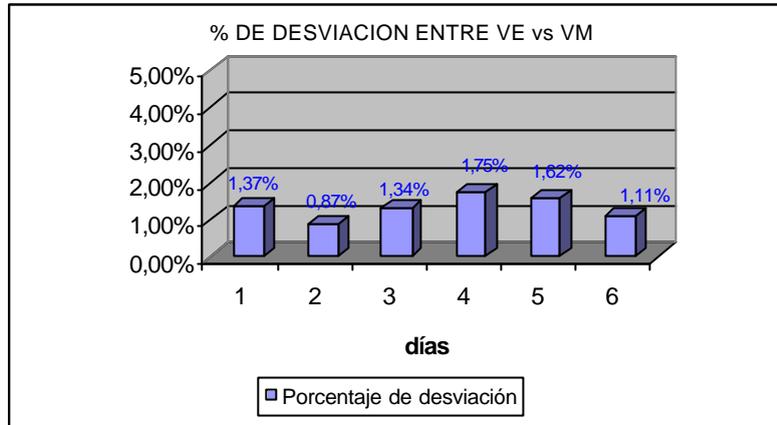


Grafico # 4.8.% de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Melaza

4.2.1.5. MASAS COCIDAS A,B,C, PIE DE TEMPLA

Para obtener el porcentaje de las masa cocidas primera (A), segunda (B), tercera (C) y el pie de templa por día (seis días considerados) en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el anexo 4.1. a continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el Pie de Templa para el día primero

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.27 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	6,65	2,79	1,00	1,27
Valor Modelo	6,71	2,86	1,03	1,30

Tabla # 4.27. Cuadro Comparativo Masas Cocidas y Pie Templa

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,65 - 6,71|}{6,65} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,90 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|2,79 - 2,86|}{2,79} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,51 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,00 - 1,03|}{1,00} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 3,00 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,27 - 1,30|}{1,27} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,36 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 0,96 \%$, $MCB = 2,51 \%$, $MCC = 3,00 \%$ y $Pie T = 2,36 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

**Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el
Pie de Templa para el segundo día**

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.28 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	7,48	3,19	1,14	1,41
Valor Modelo	7,56	3,22	1,17	1,46

Tabla # 4.28. Cuadro Comparativo Masas Cocidas y Pie Templa

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|7,48 - 7,56|}{7,48} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,07 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|3,19 - 3,22|}{3,19} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,94 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,14 - 1,17|}{1,14} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,63 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,41 - 1,36|}{1,41} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 3,55 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 1,07 \%$, $MCB = 0,94 \%$, $MCC = 2,63 \%$ y $Pie T = 3,55 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el Pie de Templo para el tercer día

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.29 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	8,42	3,51	1,29	1,59
Valor Modelo	8,48	3,53	1,35	1,63

Tabla # 4.29. Cuadro Comparativo Masas Cocidas y Pie Templo

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,42 - 8,48|}{8,42} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,71 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|3,51 - 3,53|}{3,51} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,57 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,31 - 1,35|}{1,31} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 3,05 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,59 - 1,63|}{1,59} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,52 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 0,71 \%$, $MCB = 0,57 \%$, $MCC = 3,05 \%$ y $Pie T = 2,52 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el Pie de Templa para el cuarto día

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.30 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	6,44	2,91	0,89	1,27
Valor Modelo	6,49	2,96	0,91	1,29

Tabla # 4.30. Cuadro Comparativo Masas Cocidas y Pie Templada

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,49 - 6,44|}{6,49} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,77 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|2,91 - 2,96|}{2,91} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,72 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|0,89 - 0,91|}{0,89} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,25 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,27 - 1,29|}{1,27} * 100\%$$

Porcentaje de error = 1,57 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 0,77 \%$, $MCB = 0,72 \%$, $MCC = 2,25 \%$ y $Pie T = 1,57 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el Pie de Templa para el quinto día

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.31 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	3,96	2,71	0,79	1,17
Valor Modelo	3,97	2,74	0,83	1,19

Tabla # 4.30. Cuadro Comparativo Masas Cocidas y Pie Templa

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|5,96 - 5,97|}{5,96} * 100\%$$

Porcentaje de error = 0,18 %

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|2,71 - 2,74|}{2,71} * 100\%$$

Porcentaje de error = 1,11 %

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|0,81 - 0,83|}{0,81} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,47 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,17 - 1,19|}{1,17} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,71 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 0,25 \%$, $MCB = 1,11 \%$, $MCC = 2,47 \%$ y $Pie T = 1,71 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación de los resultados de las variable de las Masa Cocidas y el Pie de Templa para el sexto día

Para la validación de estos resultados se utiliza la información de la tabla 4.32 que se muestra a continuación:

Datos	MCA %	MCB %	MCC %	PIE T.
Valor Experimental	6,61	2,88	1,01	1,26
Valor Modelo	6,65	2,91	1,04	1,28

Tabla # 4.30. Cuadro Comparativo M1,04asas Cocidas y Pie Templa

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCA se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|6,61 - 6,65|}{6,61} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,61 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCB se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|2,88 - 2,91|}{2,88} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,01 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para MCC se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,01 - 1,04|}{1,01} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,97 \%$$

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, para PIE T. se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|1,26 - 1,28|}{1,26} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,59 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de $MCA = 0,61 \%$, $MCB = 1,04 \%$, $MCC = 2,97 \%$ y $Pie T = 1,59 \%$; se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de las Variables de las Masas Cocidas y el Pie de Templa

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que, el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %; por lo tanto, este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en los gráficos #4.9, #4.11, #4.13, #4.15 y #4.17, se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico #4.10, #4.12, #4.14, #4.16 y #4.18, se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

Primer día

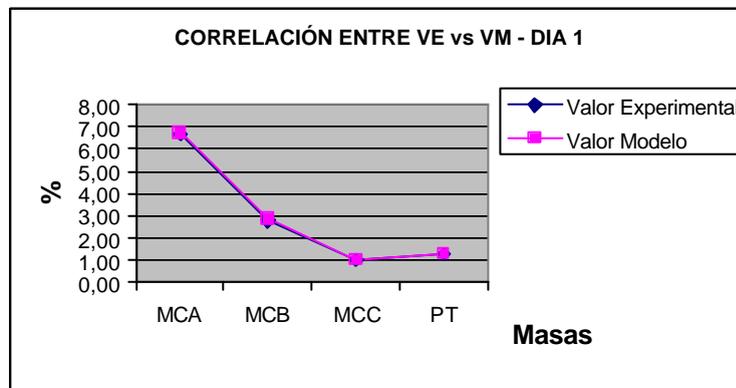


Grafico # 4.9. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo –día 1

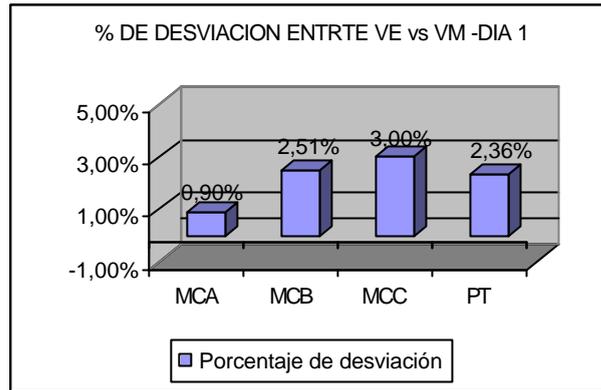


Grafico # 4.10. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo de la Melaza

Segundo día

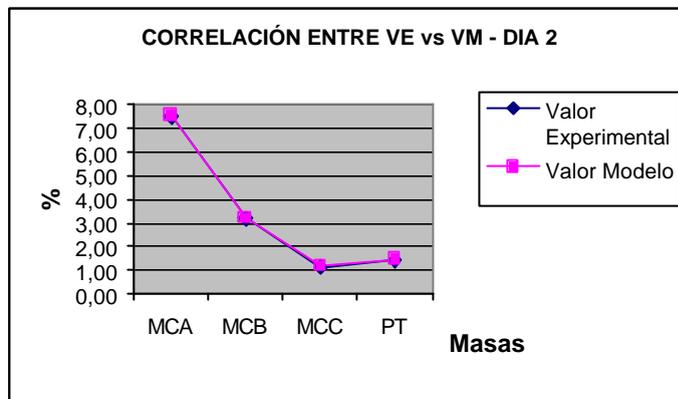


Grafico # 4.11. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo – día 2

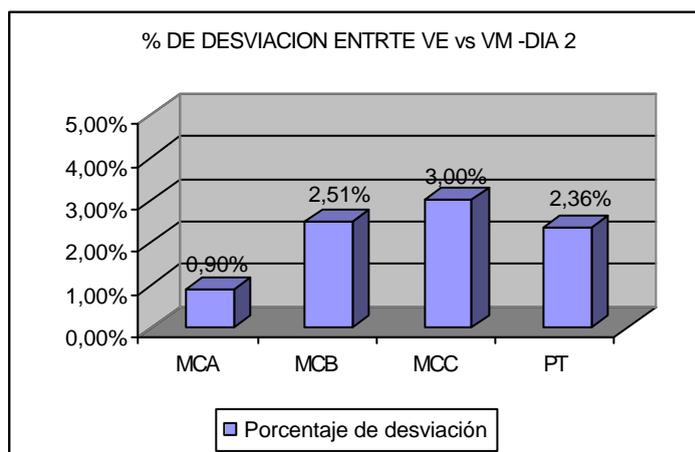


Grafico # 4.12. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

Tercer día

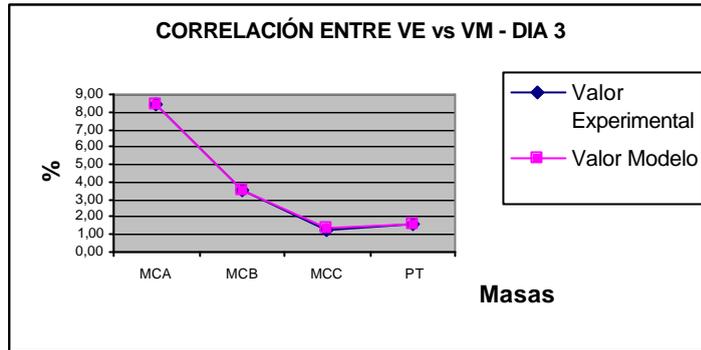


Grafico # 4.13. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

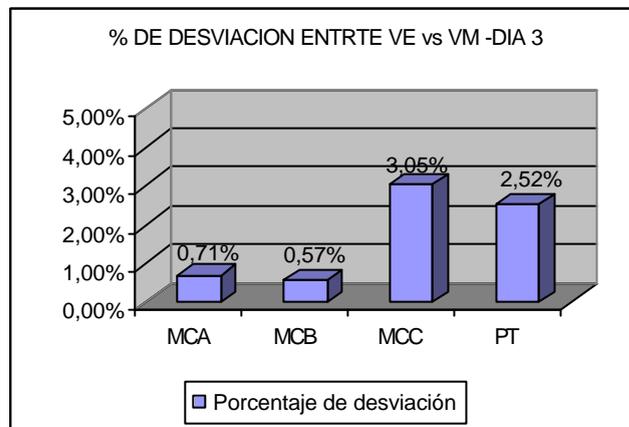


Grafico # 4.14. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

Cuarto día

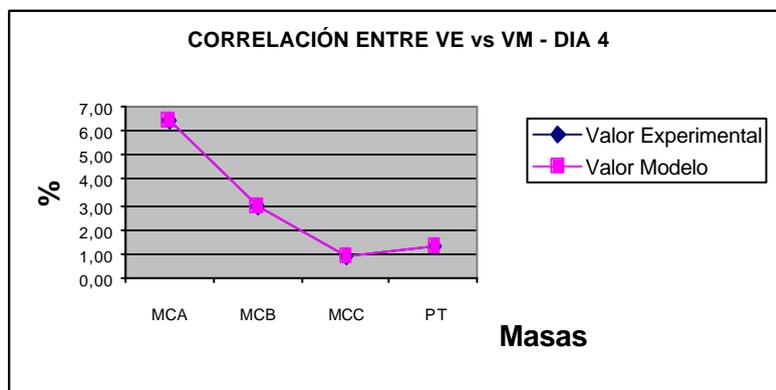


Grafico # 4.15. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

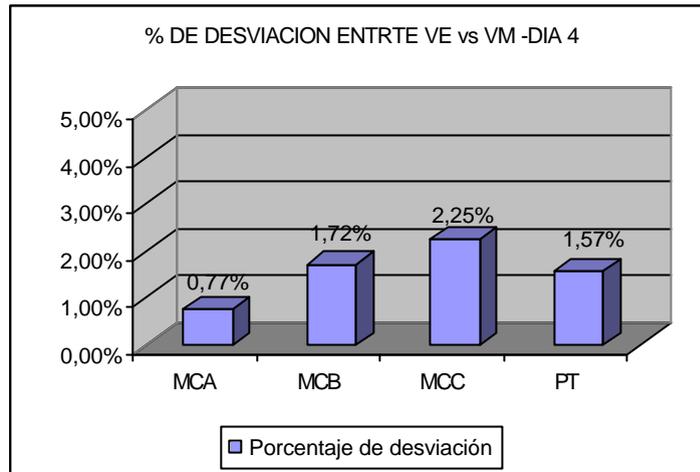


Grafico # 4.16. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

Quinto día

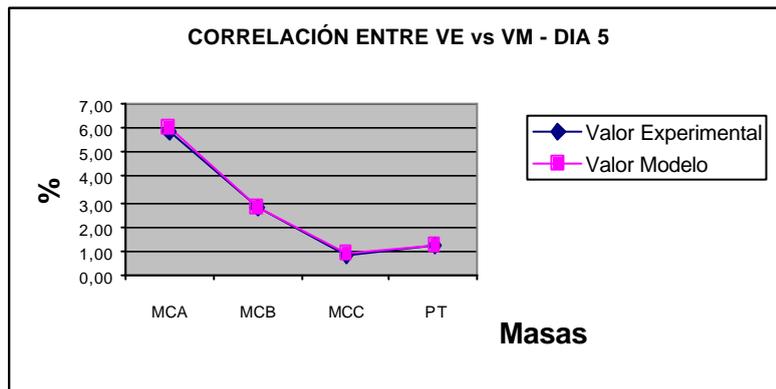


Grafico # 4.15. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

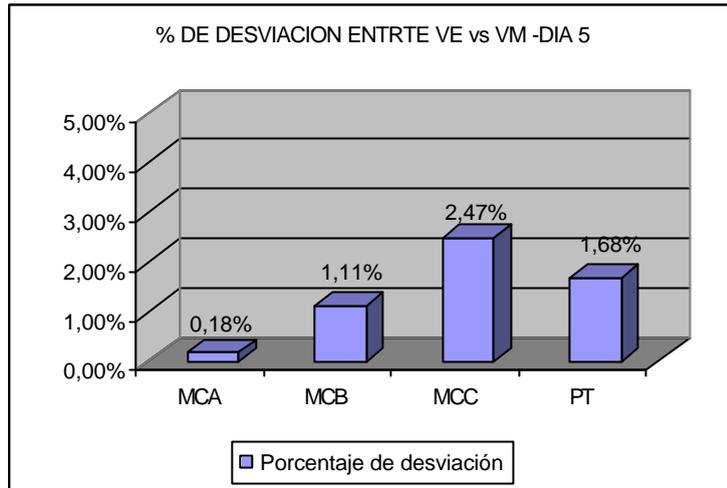


Grafico # 4.16. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

Sexto día

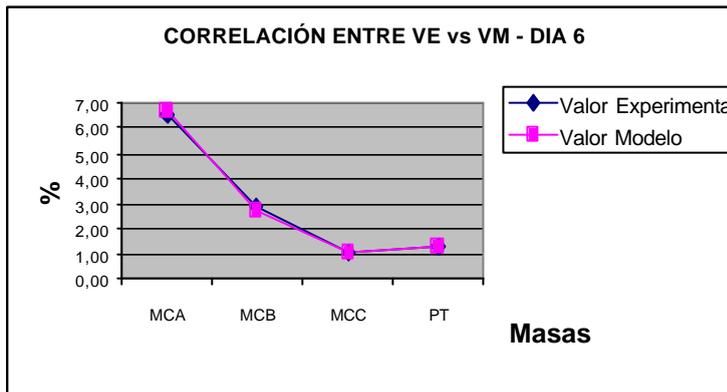


Grafico # 4.17. Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

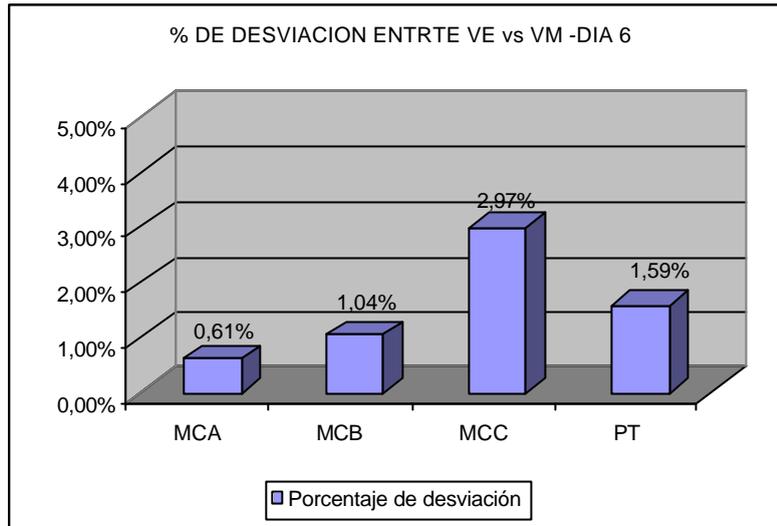


Grafico # 4.18. % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

4.2.1.6. AZÚCAR A SILOS (Ton azúcar / día)

Para obtener el valor de las Toneladas de azúcar a silos por día (seis días considerados) en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el anexo 4.1. a continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día primero

Para la validación del resultado de la variable azúcar a silos se utiliza la información de la tabla 4.31 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	94,59
Valor Modelo	94,63

Tabla # 4.31. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|94,59 - 94,63|}{94,59} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 0,36 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,36 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día segundo

Para la validación del resultado de la variable azucara silos se utiliza la información de la tabla 4.32 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	104,1
Valor Modelo	106,3

Tabla # 4.32. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|104,1 - 106,3|}{104,1} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 2,11 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,11 % se encuentra dentro del rango de datos confiables

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día tercero

Para la validación del resultado de la variable azucara silos se utiliza la información de la tabla 4.33 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	114,85
Valor Modelo	117,90

Tabla # 4.33. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|115,85 - 117,90|}{115,85} * 100\%$$

Porcentaje de error = 1,77 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,77 % se encuentra dentro del rango de datos confiables

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día cuarto

Para la validación del resultado de la variable azucara silos se utiliza la información de la tabla 4.34 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	93,55
Valor Modelo	94,95

Tabla # 4.34. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|93,55 - 94,95|}{93,55} * 100\%$$

Porcentaje de error =1,49 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,49 % se encuentra dentro del rango de datos confiables

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día quinto

Para la validación del resultado de la variable azucara silos se utiliza la información de la tabla 4.35 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	86,95
Valor Modelo	87,60

Tabla # 4.35. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|86,95 - 87,60|}{86,95} * 100\%$$

Porcentaje de error =0,75 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,75 % se encuentra dentro del rango de datos confiables

Validación del resultado de la variable azúcar a silos para el día sexto

Para la validación del resultado de la variable azucara silos se utiliza la información de la tabla 4.36 que se muestra a continuación:

Datos	Azúcar a Silos(Ton azúcar / día)
Valor Experimental	92,21
Valor Modelo	93,32

Tabla # 4.36. Cuadro Comparativo Azúcar a silos

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|92,21 - 93,32|}{92,21} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,20 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,20 % se encuentra dentro del rango de datos confiables

Análisis de Resultados de la variable azúcar a silos

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que, el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %; por lo tanto, este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.19 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.20. se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

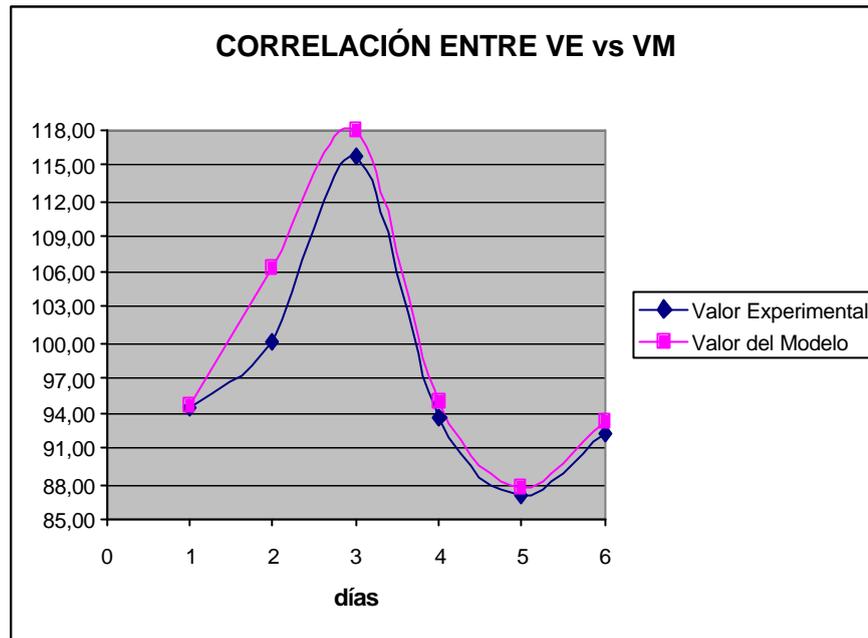


Grafico # 4.19: Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

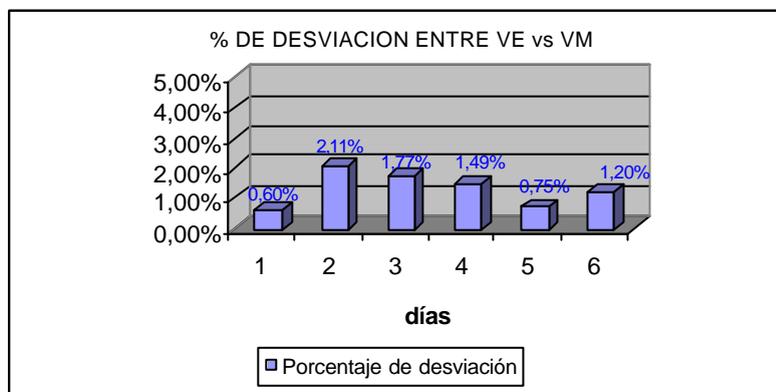


Grafico # 4.20: % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

4.2.1.7. % RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN

Para obtener el % de rendimiento de la producción por día (seis días considerados) en el sistema simulador, se utilizó los valores que se muestran en el anexo 4.1. a continuación se detalla para cada uno de los días.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el día primero

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.36 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	9,3
Valor Modelo	9,5

Tabla # 4.36: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|9,3 - 9,4|}{9,3} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,07 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,07 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el segundo día

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.37 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	10,4
Valor Modelo	10,6

Tabla # 4.37: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|10,4 - 10,6|}{10,4} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,9 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,9 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el tercer día

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.38 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	11,6
Valor Modelo	11,8

Tabla # 4.38: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|11,6 - 11,8|}{11,6} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,73 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,73 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el cuarto día

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.39 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	9,4
Valor Modelo	9,5

Tabla # 4.39: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|9,4 - 9,5|}{9,4} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1,06 \%$$

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 1,06 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el quinto día

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.40 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	8,6
Valor Modelo	8,8

Tabla # 4.40: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|8,6 - 8,8|}{8,6} * 100\%$$

Porcentaje de error = 2,3 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 2,3 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Validación del resultado de la variable del rendimiento para el sexto día

Para la validación del resultado de la variable rendimiento se utiliza la información de la tabla 4.41 que se muestra a continuación:

Datos	Rendimiento %
Valor Experimental	9,28
Valor Modelo	9,30

Tabla # 4.41: Cuadro Comparativo del rendimiento

Aplicando los valores en la fórmula F.4.1, se tiene:

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{|9,28 - 9,30|}{9,28} * 100\%$$

Porcentaje de error = 0,22 %

Si se considera que el margen de error del modelo en esta etapa es de un 5 %, el porcentaje obtenido de 0,22 % se encuentra dentro del rango de datos confiables.

Análisis de Resultados de la variable rendimiento

Una vez calculado el porcentaje de error para cada uno de los seis días de producción se puede concluir que, el resultado de la variable se encuentra dentro del margen de error del 5 %; por lo tanto, este valor esta contemplando la realidad del proceso y es confiable su respuesta, en el grafico # 4.21 se puede observar la correlación que existe entre el valor experimental y el valor del modelo, además en el grafico # 4.22. se muestran los porcentajes de error para cada uno de los casos de los seis días de la semana de producción que no sobrepasan el 5 % de error.

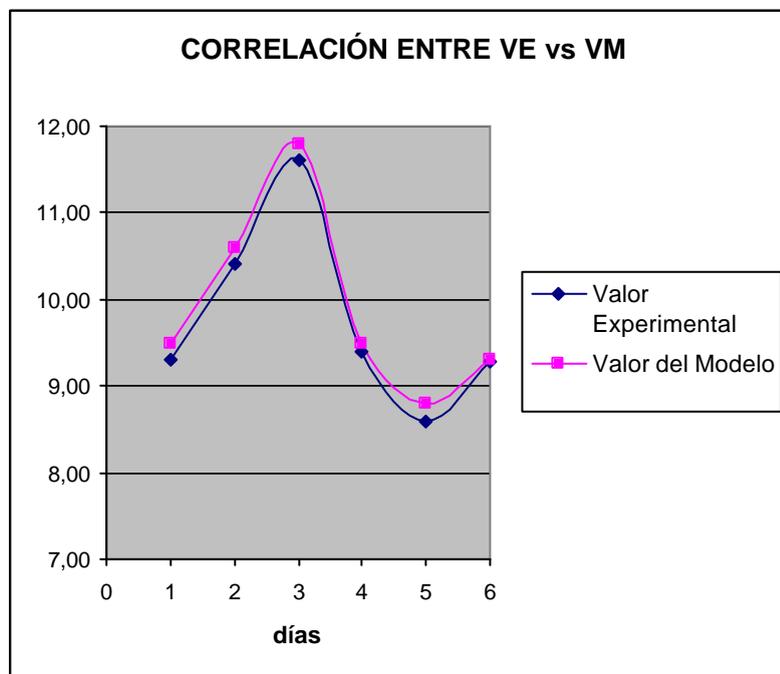


Gráfico # 4.21: Correlación entre los valores experimentales y el valor del modelo

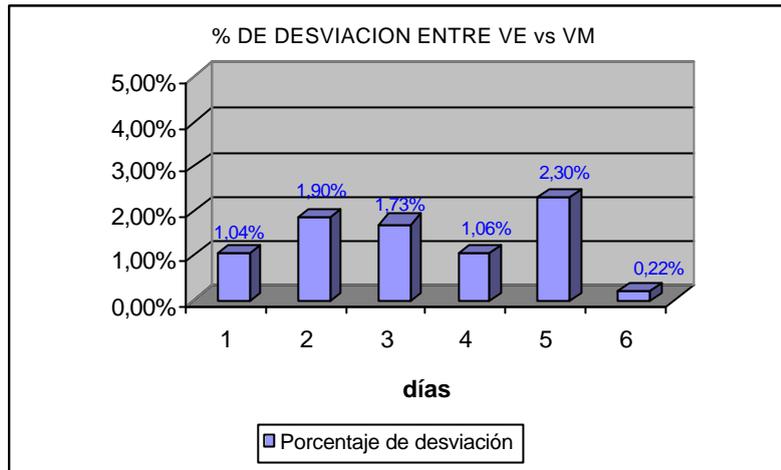


Grafico # 4.22: % de error presente entre los valores experimentales y el valor del modelo

CAPITULO IV



CONTENIDOS

PRUEBA DE RESULTADOS DEL SISTEMA SIMULADOR

- ❖ Introducción
- ❖ Pruebas del sistema simulador
 - Verificación y validación
 - Jugo Mixto
 - Pol de Bagazo
 - Pol de Cachaza
 - Melaza
 - Masas Cocidas A,B,C y Pie de Templa
 - Azúcar a Silos
 - Rendimiento de Producción

5.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

“Los procesos de producción azucarera pueden ser modelados mediante un sistema informático que tome en cuenta las principales variables y factores del proceso, generando una herramienta útil para optimizar los niveles de productividad calidad en la línea de producción”.

Con los capítulos III y IV se pueden confirmar esta hipótesis ya que como resultados del estudio que se realizó en el IANCEM, se desarrolló e implementó un sistema informático con características de simulación de procesos utilizando modelos matemáticos. Este sistema permite simular los procesos de producción y obtener parámetros para que el personal de Producción y Control, puedan controlar las variaciones de los procesos productivos, conocer los factores y resultados del proceso, determinar pérdidas en el proceso y mantener un banco de información de los ensayos realizados para planificar el proceso a futuro.

5.2. CONCLUSIONES

A través de la simulación es posible emular el comportamiento de un sistema y sus componentes esenciales; y, al aplicar conceptos de análisis de la información (propios de un sistema CAE) producto de la simulación llegar a establecer posibles problemas en su funcionamiento.

Un modelo de simulación siempre se encuentra propenso a un porcentaje de error en su modelación, debido a que el modelo representa a la realidad con una cantidad menor de información, por tal motivo podemos determinar que si tratamos de reducir demasiado el grado de error, el modelo se vuelve demasiado complejo y mientras menos complejo lo hagamos, el error se vuelve muy grande, es por eso, que se debe encontrar un punto intermedio que se ajuste a la realidad.

Para la construcción del modelo de simulación se debe disponer de la mayor cantidad de información posible acerca del sistema e invitar a especialistas o expertos en el sistema para que participen en el análisis y planteamiento inicial del modelo.

Un sistema de simulación puede ayudarnos a organizar y clasificar conceptos confusos e inconsistentes, revelan relaciones de causa y efecto, a entrenar a una persona para que afronte varias eventualidades antes de que

ocurran, es decir; una herramienta de predicción y ayuda a la toma de decisiones.

El modelo matemático es el que se ajustó a las condiciones de simulación de una industria azucarera, debido a que la mayor parte de los procesos de producción utilizan fundamentos de química y por ende ecuaciones matemáticas.

Las estimaciones y pronósticos son las bases para el desarrollo de un buen modelo de simulación, ya que alrededor de estos conceptos se puede definir alternativas para cambiar los lineamientos de cualquier sistema.

Para modelar al proceso de producción azucarera se consideró los siguientes módulos: (a) Molienda, (b) Purificación, (c) Clarificación, (c) Evaporación, (d) Cristalización - Centrifugación y Secado – Envasado.

El modelo de simulación implementado en el IANCEM permite obtener información no disponible actualmente, mejorar las operaciones de la planta de producción, efectuar cálculos o estimaciones que actualmente no son posibles, optimización de recursos y contar con la información necesaria para la toma de decisiones.

La implementación del modelo matemático planteado se lo realizó con ayuda de un lenguaje de propósito general, debido a que en la formulación del

sistema se logró establecer un balance de ecuaciones fáciles de trasladar a cualquier programa de propósito general.

La mayor parte del tiempo en el desarrollo del sistema de simulación en el IANCEM, estuvo dedicada a adquirir información del sistema y al planteamiento del modelo debido a la amplitud y complejidad de los procesos.

5.3. RECOMENDACIONES

A las autoridades de la EISIC, incluir en el pénsun de estudio de la materia de Simulación, un laboratorio de práctica que sería muy provechoso en la formación profesional de los estudiantes.

A quién se plantee desarrollar un proyecto de esta envergadura se le recomienda, que se analice el alcance del sistema ya que al manejar un grupo voluminoso de información, la resolución del mismo se puede tornar compleja e inalcanzable en un espacio de tiempo limitado.

Es recomendable, para el desarrollo de un proyecto de simulación conformar un grupo de expertos o especialistas en el área de desarrollo del sistema, ya que son vitales en la fase de análisis y formulación o planteamiento del modelo de simulación.

A quienes quieran extender este proyecto, coordinar con el IANCEM, el desarrollo e implementación de un sistema con alcances de CAM (Manufactura Asistida por Computadora) basado en este sistema. Este sistema permitirá adaptar el módulo ya desarrollado CAE con la línea de producción.

Al Ingenio Azucarero del Norte – CEM, continuar contribuyendo con el desarrollo de la Ciencia y Tecnología; permitiendo el desarrollo de tesis y

dando la apertura a las prácticas pre-profesionales de los estudiantes de la
Escuela de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

5.4. ANEXOS

CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Procesos.pdf

CD_TESIS:\Tesis\Anexos\Técnico.pdf

CD_TESIS:\Tesis\Usuario.pdf

CD_TESIS:\Simulador

5.5. GLOSARIO Y NOMENCLATURA

5.5.1. GLOSARIO

SIMULACIÓN: La simulación es la representación de un proceso o fenómeno mediante otros más simples, que permite analizar sus características.

MODELO FÍSICO: Imagen simplificada del objeto investigado, abstracción de la realidad.

MODELO MATEMÁTICO: Imagen del modelo físico en notación matemática. Desarrollo de un algoritmo generalmente implementado como programa de cómputo.

RELACIÓN MATEMÁTICA: descripción abstracta y formalizada de las relaciones entre dos o más direcciones.

CÁLCULO: Sustitución de variables en una fórmula a través de valores concretos y una evaluación.

PROCEDIMIENTO: Un sinónimo para modelo matemático.

VARIABLE: Dimensión que cambia o varía en el modelo.

VARIABLES ENDÓGENAS: Son aquellas producidas dentro del sistema que revelan su estado y su condición.

VARIABLES EXÓGENAS: Son variables de entrada o independientes.

PARÁMETROS: Dimensión variable pero fija en el modelo.

CONSTANTE: Dimensión no variable en el módulo.

VALIDACIÓN: Interpretación de resultados.

CNC: Control Numérico Computarizado, son máquinas programadas y controladas por computador a través de software de diseño y manufactura, CAD/CAM.

IC: Ingeniería Concurrente, es una técnica que permite a través de un grupo de criterios, integrar las técnicas de CAD, CAM, CAE en un entorno industrial.

JIT: Just in Time, nuevo enfoque en la organización de la producción, donde se concibe disponer de los recursos en espacios de tiempo planificados.

Modo Off-line: Relaciona la operación de un ente en un estado fuera de línea dentro de un proceso.

Sistema CAD: Sistema de Diseño Asistido por Computadora, permite obtener diseños gráficos en base a ejes de referencia, para analizar nuevos prototipos de modelos o productos dentro de una industria.

Sistema CAE: Sistema de Ingeniería Asistida por Computadora generalmente utiliza técnicas de simulación para obtener un sistema integral de predicción y proyección. Es utilizado generalmente en la industria.

Sistema CAM: Sistema de manufactura Asistida por Computadora, a través de lenguajes y técnicas especializadas es posible controlar equipos y maquinaria de forma exacta en el proceso de producción.

UOP: Unidad Operativa de Proceso, es un módulo principal integrante de un proceso productivo dentro de una planta de producción.

MOLIENDA: Proceso de producción azucarera que extrae el jugo de la caña.

SULFITACIÓN: Proceso de producción que permite eliminar materiales colorantes y transformar a las sales férricas que se forman en tanques y tuberías en compuestos ferrosos incoloros”.

ENCALADO: En este proceso se elimina los ácidos orgánicos del jugo y permite elevar el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa.

CLARIFICACIÓN: El objetivo de este proceso es obtener un jugo claro de color amarillo brillante, transparente y sedimentar todos los precipitados (cachaza) formados en el encalado para producir un jugo cristalino.

EVAPORACIÓN: El objetivo de este proceso es concentrar el jugo claro proveniente del clarificador por medio de cuerpos sometidos al vacío.

CRISTALIZACIÓN: Este proceso permite almacenar las masas cocidas y pasar con la consistencia debida a centrifugación y controlar agotamiento de masas, la cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto.

CENTRIFUGACIÓN: Este proceso permite separar la sacarosa cristalizada de la miel.

SÓLIDOS: Cantidad de azúcar e impurezas en la muestra (jugo, caña, jarabe, mieles, masas)

POL: Cantidad de azúcar presentes en la muestra

BRIX: Cantidad de sólidos presentes en la muestra

PUREZA: Cantidad de azúcar en los sólidos.

BAGAZO: Es el residuo que deja la caña cuando es molida por el tándem. También se considera el que sale de cada molino como bagazo individual

IMBIBICIÓN: Se denomina así al agua fría o caliente que se pone en el colchón de bagazo de cualquier molino o guarapo agregado en el mismo colchón de bagazo con el mismo propósito, del cual cierta cantidad pasa al guarapo diluyéndolo.

MASA COCIDA: Mezcla de miel y cristales.

5.5.2. NOMENCLATURA

tcm = toneladas de caña molidas

J_C = Jugo Clarificado

P_A = Pol de A, pudiendo ser A bagazo, jugo, masa cocida o miel.

Cdo = Jugo concentrado que sale de un evaporador.

J = Jarabe

n = número de muestras a analizar.

ρ = Densidad

M = Magma

m = miel

MC = Masa Cocida

$B_{\text{Subíndice}}$ = brix de la corriente subíndice

$P_{\text{Subíndice}}$ = pol de la corriente subíndice

$P_{za \text{ Subíndice}}$ = pureza de la corriente subíndice

P = Pie de templa

ppm = Partes por millón

rpm = Revoluciones por minuto

5.6. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

[LIB-01]: Maynard, Manual de Ingeniería y Organización Industrial, Pag. 1191

[LIB-02]: Shanon, Simulación DE Sistemas, Diseño e Implementación, pag. 24.

[LIB-03]: Shanon, Simulación DE Sistemas, Diseño e Implementación, pag. 16.

[LIB-04]: Shanon, Simulación DE Sistemas, Diseño e Implementación, pag. 26.

[LIB-06]: TORANZAS, Estadísticas, pag. 470

SITIOS WEB

[WEB-01]:

<http://www.nexteleng.es/catalogosPDF/AMEDIDA.pdf#search='fases%20sim'>

[WEB-02]:

<http://endrino.cnice.mecd.es/jhem002/estadisticas/estadistica02.htm#centra>

[WEB-03]:

<http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/libro.pdf>

[WEB-04]:

<http://www.info-ab.uclm.es/ asignaturas/42539/transparencias/html/simulacion/03.htm>

[WEB-05]:

<http://www.tenstep1.com.mx/paso2.htm>

[WEB-06]:

<http://www.monografias.com/trabajos4/pronosticar/pronosticar.shtml>

[WEB-07]:

http://www.modeladoingenieria.edu.ar/unj/tms/plan_catedra_2001_teoría_de_modelos_y_simulacion.pdf

[WEB-08]:

http://www.modeladoingenieria.edu.ar/unj/tms/plan_catedra_2001_teoría_de_modelos_y_simulacion.pdf

[WEB-09]:

<http://www.tenstep.com.mx/paso4.htm>

REVISTAS

[REV-01]: PCWORD, Vol. 5, 2001

5.7. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ❖ MAYNARD, Manual de Ingeniería y Organización Industrial, Tercera edición, Editorial Reverté, España, 1998
- ❖ RIOS-RIOS, Simulación Métodos y Aplicaciones Editorial Aflaomega ra-ma, México, 1999.
- ❖ SHELDON, Ross, Simulación, Segunda Edición, Editorial Prentice may, México, 1999.
- ❖ SHANON, Robert, Simulación de Sistemas Diseño, Desarrolle e Implementación,
- ❖ TORANZOS, Fausto: Estadística, Editorial Kapelusz, Argentina, 1968

MANUALES

- ❖ TAMAYO-ESPARZA-CAICEDO, Instructivo para operaciones y procesos, IANCEM, 1999

SITIOS WEB

- ❖ <http://www.monografias.com/sipro/sipro.shtml>

- ❖ <http://www.idom.es/Innova/download/valor.simulacion.pdf>

- ❖ <http://www.pladema.com.ar/documentos/aatn2000-ludwig.pdf>

- ❖ http://www.tlm.unavarra.es/asignaturas/arss/arss03_04/practicas/introduccion.pdf

- ❖ <http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/0/77D067350D140923C1256E540055E5F8?OpenDocument>

- ❖ http://www.modeloingenieria.edu.ar/unj/osp/apuntes/simulacion_introduccion.pdf

- ❖ <http://www.catunesco.upc.es/ads/ads2.htm>

- ❖ <http://www.uoc.edu>

- ❖ <http://www.inf.udec.cl/~ingsoft/cap2.html>

- ❖ <http://www.institut.math.jussieu.fr/~sombra/papers/tesis/tesis1.pdf>

- ❖ <http://www.mofinet.com>

- ❖ <http://www.cedex.es>

- ❖ <http://www.usc.es/fundm/docs/programas/430111899.pdf>

- ❖ <http://www.fciencias.unam.mx/Docencia/Licenciatura/Materias/mat68.html>

- ❖ <http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/Menu/CE2C10EB8FDA992AC1256BB5003D3077?OpenDocument>

- ❖ <http://cediac.uncu.edu.ar/Grupo%20SIN.htm>

- ❖ http://random.cimat.mx/~pye/programas_docentes/maestria/Estadistica/TecnicasdeOptimizacionySimulacion.htm

- ❖ <http://www.aviacionulm.com/simulacion.html>

- ❖ http://www.scisoftware.com/products/solid_waste_demo/solid_waste_demo.html

- ❖ http://www.modeloingenieria.edu.ar/unj/tms/plan_catedra_2001_teoría_de_modelos_y_simulacion.pdf

- ❖ <http://www.tradeoffs.montana.edu/presentations/march99/22>

- ❖ <http://www.info-ab.uclm.es/asignaturas/42539/transparencias/html/simulacion03.htm>

- ❖ <http://www.dmsomil/briefs/msdocs/policy/glossary.pdf>

- ❖ <http://www-azc.uam.mx/cyad/procesos/website/grupos/tde/NewFiles/faustov.III.html>
- ❖ <http://www.coppe.ufrj.br/~notimat/Resumen/Venezuela/Resumen85.htm>
- ❖ <http://www.tecnomak.com.ar/ingenier%C3%ADa-transito.htm#m1>
- ❖ http://www.ii.uned.es/cdrom/tercero/simulac/Apuntes%20de%20Simulaci%C3%B3n/capitulo_9.pdf
- ❖ http://w3.mor.itesm.mx/~jfrausto/Simulacion/intro_simulacion.html
- ❖ <http://www.unne.edu.ar/cyt/tecnologicas/t-050.pdf>
- ❖ <http://www.cedex.es/aplicadas/electronica.html>
- ❖ <http://www.sagarpa.gob.mx/Forma/documentos/ingenio03.htm#PROCESOS>
- ❖ <http://www.cta.uva.es/CTANEW/espanol/feder/introduccion.html>
- ❖ http://www.cubagov.cu/des_eco/azucar.htm

- ❖ <http://www.ictsd.org/dlogue/1998-sept/Echavarria.pdf>

- ❖ <http://www.coltejer.com.co/Internet/OAL/incauca.htm>

- ❖ http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/remolacha_ca%F1a_modificados_geneticamente.htm

- ❖ http://www.consumer.es/web/es/nutricion/aprender_a_comer_bien/guia_alimentos/miscelanea/34877.jsp

- ❖ <http://www.perafan.com/ea02cali.html#refinado>

REVISTAS

- ❖ PC MAGAZINE EN ESPAÑOL, Perú, Vol 5

- ❖ PCWORD, Vol. 5, 2001

LA SIMULACIÓN EN LA INDUSTRIA	2
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. DEFINICIÓN	3
1.3. IMPORTANCIA	4
1.4. APLICACIÓN.....	5
1.5. FASES DE LA SIMULACIÓN	6
1.6. EVENTOS ALEATORIOS.....	7
1.7. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS	8
1.8. RELACIÓN DE LA SIMULACIÓN Y LA INFORMÁTICA	10
1.9. LA SIMULACIÓN Y SU EFECTO EN LA INDUSTRIA	11
1.10. MODELOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS	13
1.10.1. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN	15
1.10.2. FUNCIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.....	16
1.10.3. ELEMENTOS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.....	17
1.10.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.....	19
1.11. ESTIMACIONES Y PRONÓSTICOS.....	21
1.11.1. ESTIMACIONES	21
1.11.1.1. PROCESO DE ESTIMACIÓN	23
1.11.2. PRONÓSTICOS.....	24
1.11.2.1. TÉCNICAS DE PRONOSTICACIÓN.	25
1.12. CASOS PRÁCTICOS DE LA SIMULACIÓN EN LA INDUSTRIA.	27
1.13. CAUSA Y EFECTO.....	31
1.13.1. DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO.	32
1.14. BENEFICIOS DE LA SIMULACIÓN	34
LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN	37
2.1. INTRODUCCIÓN.....	37
2.1. ANTECEDENTES	37
2.2. TÉCNICAS CONVENCIONALES ASISTIDAS POR COMPUTADORA..	38
2.3. INGENIERÍA CONCURRENTES (IC).....	39
2.4. SISTEMAS DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA - CAD	41
2.5. SISTEMAS DE MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA CAM.....	43
2.6 SISTEMAS DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA - CAE .	45
2.7. ESTUDIO DE SISTEMAS CAD/CAM/CAE INTEGRADO	48
2.8. SOFTWARE CAD/CAM/CAE	52
DESARROLLO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN	57
3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	57
3.1.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	57
3.1.2. DEFINICIÓN DEL SISTEMA	61
3.1.3. ADQUISICIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	65
3.1.4. DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTOS	65
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA.....	67
3.2.1. SIMULACIÓN A TRAVÉS DE MODELOS MATEMÁTICOS.....	67
3.2.1.2. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE PURIFICACIÓN Y CLARIFICACIÓN.	72

3.2.1.3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE EVAPORACIÓN.....	74
3.2.1.4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE CRISTALIZACIÓN.....	76
3.2.1.5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - CENTRIFUGACIÓN.....	79
3.2.1.6. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO - MÓDULO DE SECADO.....	81
3.2.2. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....	82
3.2.3. DISEÑO DE PANTALLAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	87
3.3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.....	88
3.4. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SIMULADOR.....	89
PRUEBA DE RESULTADOS DEL SISTEMA SIMULADOR.....	91
4.1. INTRODUCCIÓN.....	91
4.2. PRUEBAS DEL SISTEMA SIMULADOR.....	91
4.2.1. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.....	92
4.2.1.1. JUGO MIXTO.....	93
4.2.1.2. POL DE BAGAZO.....	100
4.2.1.3. POL CACHAZA.....	106
4.2.1.4. MELAZA (Ton azúcar/día).....	111
4.2.1.5. MASAS COCIDAS A,B,C, PIE DE TEMPLA.....	116
4.2.1.6. AZÚCAR A SILOS (Ton azúcar / día).....	130
4.2.1.7. % RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN.....	136
5.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	143
5.2. CONCLUSIONES.....	144
5.3. RECOMENDACIONES.....	147
5.4. ANEXOS.....	149
5.5. GLOSARIO Y NOMENCLATURA.....	150
5.5.1. GLOSARIO.....	150
5.5.2. NOMENCLATURA.....	154
5.6. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
5.7. BIBLIOGRAFÍA.....	157