

Título: Prospectiva tecnológica con apoyo del análisis de procesos en la industria química.

Autores: Jaime Machado López¹ Erenio González Suárez², Ileana León Garay³, Meilyn González Cortés²

Universidad Central de las Villas

RESUMEN:

Prospectiva tecnológica con apoyo del análisis de procesos en la industria química
En el trabajo se expone la interrelación del análisis de procesos con los estudios de Prospectiva Tecnológica en la industria de Procesos Químicos, haciendo énfasis en varias experiencias desarrolladas en el territorio central del País y ejemplificando para un caso concreto de una instalación de derivados de la Caña de Azúcar que enfrenta un reto de desarrollo competitivo ambientalmente compatible y energéticamente sustentable a través de la aplicación de la Ciencia y la Técnica en su proceso tecnológico.

En el trabajo se profundiza en los métodos científicos del Análisis Complejo de Procesos como herramienta en el estudio prospectivo de una instalación de la Industria Química.

Palabras clave: Prospectiva, análisis de procesos, ingeniería química

“Technological Prospective with support of the analysis of processes in the chemical industry”

Abstract:

In the work exposes the interrelation of the analysis of processes with the studies of Technological Prospective in the industry of Chemical Processes, making emphasis in several experiences developed in the central territory of the Country and exemplifying for a tactical mission of an installation of derivatives of the Sugar Cane that faces a challenge of compatible and environmentally power sustainable competitive development through the application of Science and the Technique in its technological process.

In the work it is deepened in the scientific methods of the Complex Analysis of Processes as tool in the prospective study of an installation of the Chemical Industry.

Key words: Prospective, analysis of processes, chemical engineering

INTRODUCCIÓN:

El desarrollo de una empresa productiva está influido por un grupo de factores internos y externos a la misma, como el desarrollo es en el tiempo no siempre conocemos como evolucionaran en el propio tiempo esos factores. Lo más adecuado para asegurar un desarrollo exitoso es mantener una actitud activa que permita no solo imaginar los diversos mundos en que nos podría tocar vivir sino también actuar sobre ese futuro. Precisamente en la actividad científica moderna ha aparecido el término prospectiva que expresa la idea de búsqueda de posibilidades, exploración de nuevos cambios, localización de recursos, determinación de debilidades El concepto de prospectiva se adelanta al de pronóstico debido a su posición proactiva o de acción modificativa del posible curso de los acontecimientos, al análisis y proyección de las múltiples alternativas que posibilitan el desarrollo de una empresa; esto responde al impronta de la época que obliga a una empresa para ser competitiva a actuar antes.

En las Ciencias Técnicas se ha planteado el Análisis Complejo de Procesos como un método para la intensificación de los procesos de producción que parte de las características del proceso estudiado, de los materiales utilizados, la situación real de los equipos, encontrando expresiones cualitativas y cuantitativas de las reservas del proceso, por lo que la complejidad del análisis,

incluye un dominio completo del proceso estudiado y la incertidumbre de la evolución de su entorno y de su propio desarrollo. En los procesos de la Industria Química la incertidumbre se agrupa en cuatro aspectos:

- En el desarrollo futuro de las capacidades instaladas.
- En la disponibilidad de los equipos.
- En los cambios del entorno.
- En el desconocimiento de los nuevos parámetros tecnológicos.

De acuerdo con lo anterior se han realizado varios estudios empleando el análisis de procesos en el intensificación de varias instalaciones, entre los que resaltan el caso de una fábrica productora de cartoncillo para corrugar, el de una fábrica de papeles blancos, los estudios de la planta de recape de Villa Clara, la cerámica vajillera y técnica, la fábrica de vidrio de Las Tunas, la planta de acabado de la textilera Desembarco del Granma.

Dentro de estos casos por su continuidad en el tiempo y por la obligada necesidad de buscar soluciones acorde con la realidad económica del país, nos detendremos en el ejemplo de la planta de cartoncillo para corrugar cuyos antecedentes describimos a continuación.

ANTECEDENTES

A partir de 1963, en que la Papelera Damují comenzó a funcionar de forma estable, se produjo una afectación de envergadura en la fauna existente en el Río Damují, la cual prácticamente desapareció a lo largo de los 8 km., que van desde el punto de vertimiento de los residuales líquidos de esta industria, hasta la desembocadura del propio río, en la Bahía de Cienfuegos, como consecuencia de la descarga en él de un efluente industrial cuya carga promedio es de 4000 mg / l de DBO, con un PH de alrededor de 11 y un altísimo contenido de sales de sodio.

El creciente interés y la necesidad de preservar nuestros recursos naturales obligan a darle una solución a la contaminación que los residuos de esta fábrica originan.

Lo anterior conlleva enfrentarse a la doble tarea que supone encontrar una solución técnica adecuada que a la vez afecte lo menos posible a la economía de la empresa, lo cual no resulta fácil si se analizan las características propias de la Papelera, fábrica aislada que sólo elabora pulpa semiquímica como renglón productivo intermedio y su producto terminado tiene un valor relativamente bajo.

Hasta el momento se han realizado trabajos con vistas a intensificar el proceso podemos citar: modelación matemática de todos los elementos y etapas del proceso tecnológico con ayuda de métodos estadísticos de procesamiento de la información de los datos del control operacional y diseños experimentales que para investigar determinados elementos se realizaron a escala industrial /1/, se ha estudiado el efecto del nivel del desmeollado del bagazo en la eficiencia económica de la instalación /2/, se han hecho estudios de la proporción óptima de la mezcla en la pasta fibrosa con la cual se fabrica el papel (Enrejado Simple) /2/, estudios para resolver la eficiencia energética de las calderas y del sistema en su conjunto, se desarrolló la tarea inversionista que consiste en la instalación y montaje de una planta de tratamiento de residuales que supone la evaporación del efluente residual para concentrarlo desde un 6.7 a un 35 % de sólidos para luego utilizarlo en la fabricación de lignosulfonatos /3/.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Estas investigaciones se han desarrollado de forma integral con ayuda del Análisis Complejo de Procesos, el cual no es más que la aplicación de métodos científicos de reconocimiento y definición de problemas y el desarrollo de procedimientos para su solución.

El Análisis Complejo de Procesos como vía para lograr la intensificación de los procesos tecnológicos de la Industria Química consiste en un amplio análisis científico técnico y técnico económico de un proceso existente o concebido, en lo referente a las posibilidades de realización óptima de los objetivos previstos, que permiten tomar decisiones con alto grado de responsabilidad, se requiere de un personal técnico capacitado para lograr todo lo establecido en dicho análisis.

El Análisis Complejo de Procesos sirve para descubrir las partes débiles en el proceso de producción correspondiente y la creación de medidas para su eliminación parcial o completa, permitiendo un mejor aprovechamiento de las materias primas, medios de trabajo, energía, lo que conduce a un aumento de su efectividad /2/.

Lo diferencia del resto de los métodos que no está dirigido a la eliminación de fuentes de pérdidas dispersas o los modos de trabajos inefectivos sino al logro y aprovechamiento de las posibilidades del proceso

En los Análisis Complejos de Procesos hasta ahora se ha mostrado que a la aplicación de la modelación matemática se le atribuye una significación particular .

Independientemente de la elección de los modelos matemáticos para la solución de los problemas han de determinarse experimentalmente los parámetros requeridos y ha de comprobarse la adecuación de los mismos o sea en que medida se refleja satisfactoriamente la realidad mediante los modelos. Por otra parte los experimentos de los modelos persiguen el objetivo de detectar puntos débiles y analizarlos así como de encontrarles propuestas de solución mediante operaciones formadas en el modelo matemático.

Su aplicación en la intensificación de procesos va dirigido a:

Ahorro de materias primas y productos químicos de importación.

Incremento de la eficiencia en la recuperación de los recursos invertidos.

Como se conoce es recomendable en las industrias de pulpa y papel disminuir los consumos energéticos y de productos químicos de importación de manera que garantizando la calidad de los productos se logre precios más competitivos.

Así los investigadores han estudiado el efecto de varios solventes orgánicos acuosos sobre diversos tipos de materias primas en los rangos de temperatura de los procesos tradicionales.

Se ha encontrado que los alcoholes alifáticos de bajo peso molecular, presentan las condiciones más favorables debido primero a su facilidad de recuperación y segundo a la opción que el proceso presenta de aprovechar productos secundarios como la lignina. Se ha descubierto además que la adición de alcoholes y aminas durante la producción de alcalinas incrementa la selectividad de delignificación de los procesos tradicionales Sosa y Kraft /4/.

Es notorio que en los últimos años se ha tenido un interés grande en la búsqueda de nuevas alternativas para los procesos de obtención de pulpa celulósica, buscándose mejorar los ya existentes e intentando crear nuevos métodos.

Dentro de estos intentos se encuentra el uso de etanol en los reactivos alcalinos como una posibilidad muy seria para constituirse como un aditivo que contribuiría a optimizar el proceso /5/ /6/.

Para países con fuerte desarrollo en la industria azucarera como es el caso de Cuba, dada las fluctuaciones en los precios del azúcar crudo, la diversificación de esta industria se convierte en

una posibilidad de subsistencia y ulterior desarrollo debido a que se produce un enriquecimiento del proceso a través de múltiples actividades en vez de una sola la cual, en principio debe redundar en mejores resultados económicos, aprovechando mejor la potencialidad de recursos energéticos y materiales en la obtención de productos valiosos para la economía.

En la literatura se reporta varios trabajos de empleo de alcoholes en el pulpeo entre los que resaltan:

Pulpeo etanol-sosa con astillas de tronco de palma de coso de Sanjuán D., R.; Vargas R., J.; Patt R. del Instituto de Madera, celulosa y papel Universidad de Guadalajara. Evaluación de las propiedades físicas de celulosa de eucalipto obtenida con el proceso Kraft-Etanol. Jaime Arturo Vargas Ing. Químico de la Fac. de Ciencias Químicas de la Universidad de Guadalajara
Deslignificación del bagazo en el pulpeo hidroalcohólico. Relación entre el No. de Kappa y Lignina Residual. Carlos Nuñez, Mónica Reinoso Universidad Nacional de Misiones. Argentina.
Pulpeo hidroalcohólico de bagazo, cinética, deslignificación y retención de polisacáridos. Carlos Nuñez, Jorge Ferreyra, Universidad Nacional de Misiones. Pulpeo hidroalcohólico de Eucalyptus grandis-Deslignificación, catalizadores y lignina. Carlos E. Núñez.

Es nuestro propósito en las condiciones de Cuba:

(obj:)

- Tratar de resolver la contaminación ambiental producida por los residuales de la papelera “Sergio González” probando otras alternativas en el proceso de producción.
- Lograr la integración energética entre el CAI y la papelera.
- Lograr la sustitución de las importaciones en la papelera Sergio González.

Para ejecutar este trabajo se utilizaron los métodos de Análisis Complejo de Procesos que han sido experimentados con éxitos ya anteriormente en la industria del papel.

Trazándonos un grupo de tareas que dan origen a un diagrama heurístico y que se relacionan a continuación:

TAREAS

1. Probar diferentes alternativas de balances de materiales y energía en el CAI “Guillermo Moncada” con el objetivo de obtener bagazo disponible para la papelera, vapor suficiente para la cogeneración, usos del proceso y sobrante para en caso de necesidad de la papelera.
2. Probar alternativas en el balance de materiales y energía con la extracción de diferentes porciones del jugo de los filtros en el CAI con el objetivo de producir alcohol a partir de estos para el pulpeo del bagazo en la papelera.
3. Determinar los índices de consumo de alcohol y las alternativas para el pulpeo de pulpa Kraft con alcohol.
4. Diseño de la destilería para producir el alcohol que consumirá la papelera.
5. Estudiar métodos de separación de alcohol residual en el pulpeo.

DESARROLLO

Al primer paso en el estudio fue determinar a escala semi-piloto las posibilidades de pulpeo con etanol a través del siguiente plan experimental variables independientes y niveles.

X₁: tiempo de cocción 10-15 min.

X₂: % Sosa 1,5-4,5% NaOH

X₃: % alcohol 30-45%

Parámetros de optimización

Y₁: Rendimiento

Y₂: Nro. Kappa

Matriz experimenta y resultados

No.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	Y ₂
1	+	+	+	73,15	94,87
2	+	+	-	74,68	113,00
3	+	-	+	67,98	93,60
4	+	-	-	80,91	123,52
5	-	+	+	73,87	111,10
6	-	+	-	73,00	92,10
7	-	-	+	76,00	122,61
8	-	-	-	84,00	95,30

Los modelos matemáticos quedaron:

$$Y_1 = 75,525 - 1,346 X_1 - 1,851 X_2 - 2,776 X_3 + 1,586 X_1 X_2 - 0,838 X_1 X_3 + 2,611 X_2 X_3 + 0,238 X_1 X_2 X_3$$

$$Y_2 = 105,75 + 0,485 X_1 - 2,995 X_2 - 0,217 X_3 + 0,6825 X_1 X_2 - 11,795 X_1 X_3 + 0,435 X_2 X_3 + 2,512 X_1 X_2 X_3$$

A continuación se realiza un tratamiento estadístico para la adecuación del modelo, según lo recomendado en la literatura () los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

No.	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₁	(Y-Y) ²	Y ₂	Y ₂	(Y ₂ -Y ₂) ²
1	+	+	+	73,15	73,148	0,4X10 ⁻⁵	94,87	94,857	1,69X10 ⁻⁴
2	+	+	-	74,68	74,679	0,1X10 ⁻⁵	113,00	112,98	4X10 ⁻⁴
3	+	-	+	67,98	67,981	0,1X10 ⁻⁵	93,60	93,585	2,25X10 ⁻⁴
4	+	-	-	80,91	80,907	0,1X10 ⁻⁵	123,52	123,506	1,96X10 ⁻⁴
5	-	+	+	73,87	73,869	0,9X10 ⁻⁵	111,10	11,08	4,0X10 ⁻⁴
6	-	+	-	73,00	72,999	0,1X10 ⁻⁵	92,10	92,08	4X10 ⁻⁴
7	-	-	+	76,00	75,997	0,9X10 ⁻⁵	122,61	22,597	1,69X10 ⁻⁴
8	-	-	-	84,62	84,619	0,1X10 ⁻⁵	95,30	95,287	1,69X10 ⁻⁴
					($\bar{Y}-Y$) ² 2,7X10 ⁻⁵			($Y-\bar{Y}$) ² 21,28X10 ⁻⁴	

$$S(ad)^2 = \frac{(Y-Y)^2}{f} = 0,675X110^{-5} \quad S(ad)^2 = 5,32X-10^{-4}$$

donde f = N-(K+1)

N: Número de corridas

K: Número de variables
f: grados de libertad

$$F(4,8) = \frac{S(ad)^2}{S(y)^2}$$

donde:

$$S(y)^2 = \frac{S_i^2}{N}$$

$$S_{i^2_{y1}} = 17,0569 \quad S_{i^2_{y2}} = 8,5849$$

$$F(4,8) = 3,95 \times 10^{-7} \quad F(4,8) = 6,196 \times 10^{-5}$$

$$F_{tab} = 3,84$$

Para que el modelo sea adecuado $F_{cal} < F_{tab}$ y en ambos se cumple.

Luego se calcula la significación de los coeficientes del modelo:

Para que los coeficientes sean significativos deben ser mayor que b_j

$$b_j = S_{bj} \cdot t_{80,8}$$

$$S_{bj} = \frac{S_{ly2}}{N}$$

$$S_{bj_{y1}} = 1,460 \quad S_{bj_{y2}} = 1,0359$$

$$t_{(80,8)} = 0,889 \quad b_{j_{y2}} = 0,9209$$

$$b_{j_{y1}} = \pm 1,297$$

Los modelos se reducen a:

$$Y_1 = 75,525 - 1,346X_1 - 1,851X_2 - 2,776X_3 + 1,586X_1X_2 + 2,611X_2X_3$$

$$Y_2 = 105,75 - 2,995X_2 - 11,795X_1X_3 + 2,512X_1X_2X_3$$

3.2 Determinación de los parámetros de pulpeo.

Como se ve en los modelos la variables X_1 no incide en el Nro Kappa y si en el rendimiento por lo que una primera decisión puede ser emplear valores mínimos de tiempo lo que reduce los modelos a las siguientes expresiones:

$$Y_1 = 76,871 - 3,437 X_2 - 2,776 X_3 + 2,611 X_2 X_3$$

$$Y_2 = 105,75 - 2,995 X_2 + 11,795 X_3 - 2,512 X_2 X_3$$

En estas ecuaciones se ve que el efecto de X_2 es que su aumento disminuye tanto su rendimiento como el KAPPA por lo que se crea una incertidumbre con la decisión, sin embargo el hecho de que X_3 (% de etanol) también disminuye el rendimiento y aumenta el KAPPA en gradientes menores y superiores respectivamente que los porcentos de Sosa, abre la posibilidad de fijar el

porcentaje de Sosa en valores mínimos con una incidencia favorable en los costos y determinar posteriormente el valor del porcentaje de etanol en el pulpeo de acuerdo con los siguientes modelos:

Para X_2 mínimo:

$$Y_1 = 80,308 - 5,387 X_3$$

$$Y_2 = 108,745 + 14,307 X_3$$

De acuerdo con el valor establecido para el Nro. de Kappa de 98 ± 2 se tiene que:

$$98 = 108,745 + 14,307 X_3$$

$$X_3 = 0,75$$

descodificando este valor:

$$X_c = \frac{(XR - X_c)}{I}$$

$$= 0,75 = \frac{(XR - 37,5)}{7,5}$$

$$XR = 31,875$$

$$X_3: \% \text{ de alcohol} = 31,875\%$$

$$X_2: \% \text{ de sosa} = 1,5\%$$

$$X_1: \text{ tiempo de cocción} = 10 \text{ min}$$

3.2 Hemos comprobado experimentalmente que con un 31,875% de alcohol y reduciéndose el consumo de Sosa a 1,5% se han obtenido números de Kappa y rendimientos buenos, luego:

Con la papelera se consume $1,6138 \frac{\text{ton de bagazo}}{\text{ton de papel}}$

Para una producción diaria de 50 ton de papel, hay un consumo de $80,6919 \frac{\text{ton de bagazo}}{\text{día}}$

En el digistor se produce $2,6 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$ de pulpa

Es un digistor continuo, donde se cocina durante 7 min por lo que se produce 0,28 ton de pulpa cada vez que el digistor cocina.

Industrialmente se trabaja con un hidromódulo de 4,5:1, lo que representa en una hora la operación.

Bagazo: 0,57 ton

Licor: 2,022 ton

al 31,875% de alcohol representa un consumo de 0,18 ton de alcohol/h $\frac{0,184 \text{ ton de alcohol}}{789 \text{ g/l}}$

$$x \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 233 \text{ l/h}$$

la fábrica trabaja como promedio 13 horas/días

$$233 \frac{1}{n} \times \frac{13h}{día} = 3029 \frac{1}{día} = \frac{30 \text{ hl}}{día}$$

Cálculo de la inversión

El cálculo del valor de la inversión para una destilería de 120 hl/día es reportado por Lugo //.

En el referido trabajo se estima el costo de adquisición del equipamiento.

El cálculo del valor de equipamiento para una inversión para una destilería de 120 HI/día interconectada con una planta de levadura torula y que emplea recirculación de los mostos.

Como se conoce por la regla de la Punto seis se puede ajustar esta estimación a la nueva inversión por un valor de:

$$CAD = Cad1 \frac{30 \text{ hl/día})^{0.6}}{120 \text{ hl/día}}$$

De donde el valor de adquisición de los equipos de la planta de 30 hl/día es aproximadamente 80263,26

El valor total de la inversión puede estimarse con la ayuda de la tabla 24 del Peter, siendo:

I.	Costos Directos	202311,76
II.	Costos Indirectos	36609,76
III.	Capital Fijo Invertido	238921,52
IV.	Capital de Trabajo	26546,83
	Capital Total Invertido	265468,35

Para estimar el costo de producción de alcohol se puede emplear la tabla 25 del Peter y los balances de materiales y energías, para ello nos auxiliamos del balance de materiales reportado por Lugo // de donde los costos para 30hl/día se pueden obtener:

Costo Total del producto: 746313,3 USD/año

Estos costos estimados de la producción de alcohol requerido incluyen un alto componente debido a los consumos de miel, sin embargo la vinculación de la destilería a una planta de levadura torula permite ahorro de consumos de miel en la producción de torula que pueden ser descontado de los gastos en la producción de alcohol.

En el sentido anterior se ha estimado por Lugo // un ahorro en mieles para una planta de 120 hl diarios equivalentes a 232560 USD lo que para una instalación de 30 hl al día será de 58140 USD, lo que significa que los costos relativos de fábricas de alcohol estimado para la producción del año se disminuyen hasta 688173,3 USD.

Ahorro estimado por la sustitución de Sosa Cáustica por etanol.

Experimentalmente se han obtenido valores positivos de hasta 1,5% de sosa cáustica, lo que significa un ahorro de 4,7 de sosa cáustica con relación al valor actual, equivalente a los costos de sosa cáustica para una producción anual de 60000 T de papel, un ahorro por adquisición y transportación de sosa de:

$$80 \frac{\text{tn}}{\text{día}} \times 0,047 \times \frac{330 \text{ días}}{\text{año}} \cdot 1000 \frac{\text{S}}{\text{t}} = 1240800 \text{ USD/año}$$

De manera que el ahorro general será:

Ahorro en Sosa: 1240800

Costo en alcohol: 688173,3 USD

Ahorro real 552626,7 USD

Cálculo de la rentabilidad

Para determinar el efectivo verdadero de la utilización del alcohol debemos estimar también el valor de la inversión de torula lo que puede hacerse partiendo del valor calculado por Lugo // para el vínculo a una planta alcohol-torula de 120 hl y 40 t de torula diaria de forma respectiva que se transforma en nuestro caso a 30 hl y 10.2 t/día torula. Teniendo como referencia el valor de una planta 80 t/día de 12000000 USD, se estima por la regla de la punto 6, un valor requerido de 3147326 . 468 USD para la instalación de torula.

Es indudable que la inclusión de una planta de torula permite nuevas producciones que de acuerdo con la experiencia acumulada por el tamaño de la planta prevista se deben alcanzar ganancias de producción de 270878,7 USD por lo que la contribución económica de estas inversiones será 823505,4 USD, lo que frente a una inversión total de 3412794,82 USD permite estimar un por ciento de retorno de 24,13% y un tiempo de recuperación de la inversión de 4,14 años.

IV: CONCLUSIONES

1. Es factible sustituir un por ciento de la sosa caústica empleada en la producción de pulpa semiquímica que se utiliza en la mezcla fibrosa de la cual se fabrica el carboncillo para corrugar.
2. Se obtienen buenos resultados de rendimiento y número de Kappa con bajos tipos de cocción y sosa caústica, lo que permite una buena productividad del proceso y ahorro del producto químico.
3. Al emplear etanol en el pulpeo en combinación con la sosa caústica se obtiene una disminución apreciable en los costos de pulpeo.
4. La producción de etanol de forma combinada con una pequeña planta de levadura torula es una variante atractiva para garantizar los insumos de etanol que requerirá la producción de Papelera Damují en un año.
5. Debido a su aparente ventaja económica y a la producción de un derivado menos agresivo es de interés técnico económico continuar profundizando en la tecnología para producir papales industriales en Damují empleando etanol en la producción de pulpa semiquímica.

V. RECOMENDACIONES

1. Profundizar en los parámetros y condiciones industriales para el pulpeo de bagazo empleando etanol.
2. Incluir en los estudios de pulpeo no sólo parámetros de optimización como Kappa y Rendimiento, sino también propiedades físicas de la hoja firmada en el laboratorio, Grado de Molido, y valores de DQO y DB en los licores negros que se obtienen en el pulpeo con etanol.
3. Incluir en las investigaciones que se realicen alternativas industriales para recuperar el etanol empleado en el proceso.
4. Estudiar alternativas de empleo de los resultados sólidos de lignina que se encuentran en los licores negros obtenidos, para obtener menos producciones derivadas del uso de los nuevos residuales.
5. Profundizar en alternativas energéticamente sustentable de producción del etanol requerido para el pulpeo en el CAI Guillermo Moncada mediante la integración CAI-Papelera.
6. Incluir en el esquema integrado de producción el empleo del mosto de destilería en la producción de levadura de acuerdo a los niveles de residuales de la destilería.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ González E.: Modelación y Optimización de un Proceso Tecnológico para la producción de cartoncillo”. Disertación para el Grado de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. 1982
- /2/ González Suárez, Erenio y otros: Aplicación de análisis complejo de procesos en la intensificación de instalaciones de la industria química en países en vías de desarrollo. Santa Clara, 21 de Septiembre de 1993
- /3/ Gallardo Aguilar, Irenia: Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel. Tesis presentada en la opción al grado científico de candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, 1990
- /4/ Green, J. N. Sanger: “Alkaline pulping in aqueous alcohols and amines” TAPPI, 1982 Vol 6(5). 133-137
- /5/ Nuñez, C. “Pulpeo hidroalcohólico de Eucaliptos”. Informe Técnico Programa de Maestría de Celulosa y Papel de la Universidad Nacional de Misiones, Argentina 1993
- /6/ Vargas, J.A.: “Evaluación de Propiedades Físicas de Celulosa de Eucalipto obtenido en el Pulpeo kraft etanol”. Trabajo #21 ATCP, Sao Paulo, 1988
- /7/ Zedillo Ponce de León, L.E.: Mensaje del Secretario Ejecutivo de GEPLACEA al Seminario Internacional: “Generación Comercial de Energía Eléctrica en la Agroindustria Cañera”. Guatemala, 15-18 de junio de 1999.

DIAGRAMA HEURISTICO

