**ESTRATEGIA Y TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE NUEVOS PROCESOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS**

**Gestión del conocimiento en la proyección científica de la industria química mediante diseños experimentales**

***Knowledge management in the scientific projection of the chemical industry through experimental designs***

Dra. C. Diana N. Concepción Toledo1, Dr; Cs. Erenio González Suárez1, MSc. Víctor Cerda Mejias2, Dra. C. Amaury Pérez Martínez 2, Dr, C. Juan E. Miño Valdés3

1Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. E-mail: dianac[@uclv.edu.cu](mailto:o@uclv.edu.cu)

2Universidad del Amazonía, Ecuador

3Universidad Nacional de Misiones, Argentina

**Resumen:**

* **Problemática:** Está reconocido que la tecnología desempeña un papel fundamental en la competitividad de la empresa y constituye uno de los «factores intangibles» que plantean mayor dificultad en su gestión por lo que deben perfeccionarse la rapidez calidad de la determinación de las condiciones tecnológicas de diseño y operaciones
* **Objetivo(s):** Exponer y demostrar el papel de los métodos de planificación experimental para acelerar la gestión del conocimiento en la industria de procesos químicos.
* **Metodología:** Los métodos utilizados en este trabajo son los de una investigación de tipo experimental con un análisis comparativo de las ventajas de su utilización de cada plan experimental en cada caso con ejemplos de aplicación**.**
* Resultados y discusión: Se demostró la táctica de aplicación de la planificación experimental en cada caso y recomendar las vías de mejor decisión en los siguientes estudios:
* Estudio de la cinética de vulcanización mediante el Diseño factorial Completo
* Estudio de la producción de pulpa Semiquímica utilizando el Diseño factorial fraccionado.
* Estudio de la producción de pulpa para papel corrugado utilizando un diseño factorial saturado.
* Estudio del encolado de cartulina mediante la Combinación de ensayos experimentales factoriales
* Estudio de mezclas de pulpaspapeleras y de fermentación alcohólica con apoyo del diseño experimentales
* **Conclusiones:** 1; La aplicación de los métodos de planificación experimental es una vía adecuada para la obtención y procesamiento acelerado de información para la propuesta de decisiones para el desarrollo de la industria química y fermentativa. 2. Para acelerar los resultados y enfoques multilaterales de las investigaciones, los métodos de planificación experimental son un poderoso arsenal metodológico en la solución de problemas actuales y prospectivos de la industria no solo el desarrollo de los procesos óptimos, sino también la dirección de estos con vista a mantenerlos siempre en los regímenes y rutas deseadas.

**Palabras clave**: Ciencia, Experimentación, Gestión de Conocimientos, Procesos químicos

**Abstract:**

**• Problematic:** It is recognized that technology plays a fundamental role in the competitiveness of the company and constitutes one of the «intangible factors» that pose the greatest difficulty in its management, which is why the speed and quality of the determination of the technological conditions of design and operations

**• Objective (s):** To expose and demonstrate the role of experimental planning methods to accelerate knowledge management in the chemical process industry**.**

**• Methodology:**The methods used in this work are those of an experimental type investigation with a comparative analysis of the advantages of using each experimental plan in each case with application examples.

**Results and discussion**

The tactic of applying experimental planning in each case and recommending the best decision pathways was demonstrated in the following studies:

• Study of vulcanization kinetics through Full factorial Design

• Study of semi-chemical pulp production using the fractional factorial design.

• Study of corrugated paper pulp production using a saturated factorial design.

• Study of cardboard gluing by combining factorial experimental tests

• Study of mixtures of paper pulps and alcoholic fermentation with support of the design of mixtures

**Conclusions.**1. The application of experimental planning methods is an adequate way to obtain and accelerate information processing for the proposal of decisions for the development of the chemical and fermentation industry.**,** 2. To accelerate the results and multilateral approaches of the investigations, the experimental planning methods are a powerful methodological arsenal in solving current and prospective problems of the industry not only the development of the optimal processes, but also the direction of these with in order to always keep them in the desired regimes and routes.

**Keywords:** Science, Experimentation, Knowledge Management, Chemical processes

**Introducción**

Los procesos de la industria química y fermentativa tienen como objetivo lograr productos de alto valor agregado. Con este propósito se utilizan materias primas, productos químicos auxiliares, recursos energéticos, fuerza de trabajo e instalaciones de procesos que han requerido un costo de adquisición y gastos de inversión. Este sector es fuente de residuos de agresividad al medio ambiente y la minimización de este efecto debe considerarse.

Estos procesos requieren, además de gastos de recursos materiales, financieros, de y equipamiento, gastos de tiempo, está última es quizás la menos considerada, pero la más importante, pues como se ha dicho, el tiempo es el único recurso que no se recupera y constituye lo más preciado de que disponen aquellos que solo tienen su talento por fortuna.

Solo con esta impronta la ciencia se podrá convertir en una fuerza productiva más para incentivar el desarrollo científico y tecnológico. La idea de cómo alcanzar este propósito, descansa en concebir el núcleo básico de la metodología de investigación, las herramientas disponibles y su combinación para alcanzar en el menor costo y tiempo, propuestas viables en el contexto de la industria, pues sin respuestas rápidas y seguras no existirá una transferencia de conocimientos efectiva desde los centros donde se genera hasta su aplicación. Contribuir a ello, es la razón de este resultado que se reivindica.

**Métodos**

Los métodos utilizados en este trabajo son los de una investigación de tipo der planificación experimental con un análisis comparativo de las ventajas de su utilización en cada caso con ejemplos de aplicación. La intención de la misma ha estado centrada en explicar las características comunes de los modos de actuación, en la planificación experimental, y en particular las propia experiencia en más de 40 años de labor desarrolladas por los autores en estrecha conexión con el mundo empresarial proponiendo enriquecer con ello en profundidad y valor de las acciones en la temática.

**Resultados y discusión**

**Gestión del conocimiento en la industria química**

En la orientación hacia objetivos prácticos, en aras de fomentar el desarrollo tecnológico y avanzar en la innovación, se distingue como rasgo esencial de la ciencia la interdependencia de la actividad práctica y el conocimiento científico, donde cada vez más se diluyen los límites entre la ciencia y la tecnología. Es por ello, que en el desarrollo de nuevas tecnologías se manifiesta con fuerza la problemática de convertir en términos económicos de producción y comercialización los conocimientos adquiridos en las etapas de investigación y desarrollo, enlazados con los conocimientos ya establecidos, que dan la posibilidad de una nueva tecnología.

En las condiciones actuales, se impone viabilizar las rutas requeridas para alcanzar las decisiones óptimas en las nuevas decisiones tecnológicas que se transfieran al sector de la economía nacional como demanda concreta de la industria química, pero sin respuestas rápidas y seguras no habrá transferencia de conocimientos del sector de su generación hacia el de su aplicación en un adecuado vinculo universidad empresa.

El desarrollo de la industria de procesos químicos se ha fundamentado en el uso intensivo de métodos experimentales, descansando en una concepción insigne de cómo percibir los fenómenos de transporte basado en las tradicionalmente utilizadas analogías entre las transferencias de impulso, de calor y de masa.

Para los propósitos de estos estudios es necesario considerar el valor intangible de la planificación experimental para asimilar tecnologías. La idea que un experimento se puede diseñar, es de tiempos antiguos, sin embargo, en la década de los años cincuenta, del pasado siglo, se inició una nueva etapa en los trabajos de Diseño de Experimentos encaminando los esfuerzos a encontrar las condiciones óptimas (Box y Wilson, 1951) de ello debe considerarse, que el uso del Diseño de Experimento facilita un incremento apreciable de la productividad de los investigadores y de la confiabilidad de los resultados obtenidos incorporando diseños estadísticos factoriales o diseños factoriales parciales (Box y Hunter, 1961)..

La idea fundamental es realizar un número limitado de ensayos, tan reducidos como sea posible, construir un modelo matemático partiendo de esos resultados experimentales, utilizar el modelo para evaluar el gradiente de los factores sobre el parámetro de respuesta y realizar nuevos ensayos solamente en esa dirección.

El proceso completo de diseñar una investigación, puede considerarse como la investigación misma, constituido de una secuencia de etapas, parte de las cuales están completamente normalizadas y no requieren decisiones “intuitivas". Gracias al desarrollo de la teoría, las etapas formalizadas son una gran parte del proceso, pero no desplazan completamente las etapas no formalizadas, por lo cual el diseño experimental requiere de meditación y estudio (González et al; 2020).

**Los Diseños experimentales más trascendentes han sido: a)** Diseño factorial (Completo), b) Diseño factorial fraccionado, c) Diseños Factoriales parciales saturados.

Diseños multiniveles (niveles > 2; d) Método de Diseño para la formulación de mezclas

En la actualidad los diseños experimentales de mezclas más comunes son los Diseño de Enrejado Simplex propuestos por (Scheffé, 1958).

Una de las grandes aplicaciones de la planificación experimental en la búsqueda de conocimientos es determinar las condiciones óptimas de operación de la tecnología (González et al, 2017) viabilizando que su transferencia se haga en condiciones óptimas (González et al 2021a) y no en otras que no las hagan competitivas (González et al; 2021b)

**Ejemplo 1 de Diseño factorial. Estudio de la cinética de vulcanización**

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos mediante planificación experimental:**

El proceso de intensificación de una instalación industrial productora de neumáticos recauchados demostró tener como etapa limitante al incremento de las capacidades productivas en el proceso de vulcanización, no sólo determinante para la capacidad de recuperación de neumático recauchado, sino también decisivo en la calidad del neumático recauchado y en los consumos de portadores energéticos, por lo que se realizó una investigación para determinar el efecto de cada una de las variables que pueden decidir tecnológicamente en esa etapa, mediante un diseño experimental 24 (González y Otero, 1983)

**Desarrollo:**

Se incluyó como variables de incidencia la función objetivo, la Dureza de la banda de rodamiento del neumático reencauchado.

Temperatura,( ); Tiempo de espesor de *Camelback*, (); Presión en el interior del neumático en la prensa, (); Relación entre la profundidad de diseño de la matriz del molde y el espesor de *Camelback* empleado,(  )

El plan y los resultados experimentales obtenidos en experimento a escala de producción industrialmente incluyo 16 experimentos y sus réplicas.

El modelo obtenido para la dureza después de probada la significación de los coeficientes y su adecuación es el siguiente:

 Ec.1

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

El incremento de la Temperatura de vulcanización compensa la disminución de los tiempos de la operación lo que permite reducir la limitación de esta etapa de producción. La aplicación de este resultado posibilitó incrementar en 50 por ciento la capacidad instalada de la industria estudiada

Otros ejemplo de aplicación de este método se han estudiado con valor final propio (Cerda et al, 2020) o como primer paso en estudios que combinan diseños experimentales (Mesa et al; 2021)

**Ejemplo 2 de Diseño factorial fraccionado.** **Estudio de la producción de pulpa Semiquímica**

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos mediante planificación experimental:**

En la producción de papel para ondular se utiliza una primera etapa de producción de pulpa Semiquímica que utilizan en periodos distintos bagazo fresco y almacenado reuniéndose para este último caso determinar las condiciones óptimas de cocción. (González, 1982).

**Desarrollo:**

Se encontró de investigaciones anteriores y de la literatura científica que cuatro factores incidían en los parámetros de optimización:

Yk: Número de Kappa (medida de la calidad de la pulpa) y Ym: Materia orgánica (medida del impacto ambiental negativo del proceso de cocción).

Estas variables independientes fueron:

Por ciento de sosa caustica añadida;( X1); Relación fibra no fibra en el bagazo;( X2)); Tiempo de almacenamiento;( X3) Hidromódulo, (X4)

La matriz de diseño organizado para un experimento 24-1 constó con 8 ensayos y sus réplicas.

Contraste definido: X4 =X1X2X3; Relación Generada: 1=X1X2X3X4

Patrón de confusión de los factores:

b1=β1 + β234; b2= β2 + β134; b3= β3 + β124, b4= β4 + β123; b12= β12 + β24; b13= β13 + β24

b14= β14 + β23

Coeficientes calculados entonces: Para Yk, número de Kappa

b0: 93,5125; b1: -3,2875; b2: -0,4875; b3: -5,6875; b4: 0,1625; b12: 1,2625; b13: -0,0375; b14:3,5625 Donde siendo t95,8 = 1,86 (Perry et al., 2001), para el modelo de Kappa ∆bj: + 1,9892 siendo significativos b1, b3 y b14 y desde luego b0.

Para Ym, Materia orgánica b0: 46282,8875; b1: -8,8875; b2: -48,4875; b3: -15,5125; b4: -0,0125; b12: 4,7875; b13: -1,7875; b14: 251,7125

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

Para lograr los valores requeridos de Kappa debe trabajarse controlando el por ciento de sosa y el micromódulo en consideración al tiempo de almacenamiento lo que no influirá significativamente en la materia orgánica obtenida y con ello en el impacto ambiental;

**Ejemplo 3 de Diseño factorial saturado. Producción de pulpa para papel corrugado**

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos** **mediante planificación experimental:**

En el proceso de producción de papel para corrugar (ondulado.), se utiliza como producto intermedio, pulpa de Bagazo semiquímica fabricada mediante el pulpeado con sosa cautica de bagazo de caña de azúcar en un reactor (digestor) lo que es decisivo para los costos y calidad del papel. El proceso incluye además las prensas de lavado, un refinador de discos simples y un clasificador depurador de fibra.

**Desarrollo:**

Mediante un estudio de las etapas de tratamiento mecánico, se cuantificó la eficiencia energética del refinador de discos simple, estudiando su comportamiento a escala industrial con ayuda del método de *Plackett-Bürman (1946)*, y las variables que afectan las propiedades físico-mecánicas de la pulpa refinada, lo que sirvió de base para mediante un diseño factorial 25-2 obtener los modelos estadísticos de la producción de pulpa refinada, consumo de potencia y costo de operación

El procesamiento de los resultados permitió obtener los coeficientes de las variables independientes, (González et al, 1980)

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

Debido la naturaleza lineal de los modelos, mediante la Programación lineal se pudo encontrar las condiciones de mínimo costo teniendo como restricción la calidad de la pulpa y los niveles de producción

Otros ejemplo de aplicación de este método se han estudiado con valor final propio como en el caso de la evaluación de la incidencia de variables tecnológicas en los indicadores de una inversión (Alemán et al; 2021)

**Ejemplo 4 Combinación de ensayos experimentales factoriales. Estudio del encolado de cartulina.**

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos** **mediante planificación experimental:**

Con el objetivo de disminuir los costos de producción de cartulina se quiso conocer el efecto de las variables tecnológicas de adición de productos químicos cuando se utilizaba la mezcla pulpa de bagazo y papel recuperado en el encolado de papeles con mezclas de bagazo y papel recuperado para disminuir los costos de producción

**Desarrollo**

Se consideraron las siguientes variables (González et al, 1986):

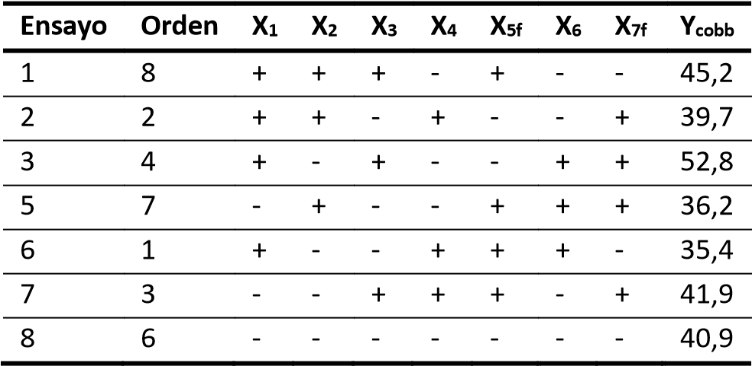
Relación bagazo/recorte,(X1); pH, Relación resina/recorte, (X2); Tiempo de retención, (X3); % sólidos en resina (X4)

Se diseñó un experimento con ayuda de la matriz de Plackett- Bürman que previendo la no significación del por ciento de sólidos de la resina, ofrezca la mejor combinación para calcular el efecto de las interacciones planteadas, Es por ello que se propone la matriz para 7 variables (dos de ellas falsas variables) y 8 puntos experimentales, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación:

X1: falsa variable; X2: Relación bagazo/recorte; X3: pH; X4: Relación resina/recorte; X5: falsa variable; X6: Tiempo de retención; X7: % sólidos en resina

La matriz experimental y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1

Tabla 1 Matriz experimental y resultados del diseño de Plackett-Bürman



De los resultados experimentales se calcularon los coeficientes de las variables independientes, a saber:

E0 : 42,99; E1: 2,71; E2: 4,20; E3: 5,1; E4: -4,3; E5f: 5,3; E6: 6,0; E7f: 1,8 Determinado el Valor del Error Estándar:



Luego se puede determinar el significativo como aquel que es mayor que: tp\*S.E.

En este caso serán para las diferentes probabilidades con los dos grados de libertad

Aquí se encontró que el efecto de la falsa variable Xf5 es muy significativo, por lo que existía la posibilidad de que los efectos de las interacciones tuvieran que ser considerados, además como se había supuestos la variación en el por ciento de sólidos no tenía significación en las variaciones del parámetro de respuesta.

Eliminando las columnas X1, X5 y X7 queda una matriz correspondiente al diseño 2 4-1 a lo que se añaden tres corridas en el centro para hallar la varianza experimental.

Si se analiza el mezclado de los efectos de las variables tendremos que:

X3= X2X4X6 y donde el contraste definido es: 1= X2X3X4X6

Siendo el mezclado de los efectos:

b2= β2 + β 346, b3= β3+ β 246, b4= β4+ β 236 y b5= β5 + β 246

determinando los efectos de las interacciones b24 y b34 siendo los efectos de las interacciones b36 y b26 despreciables. Siendo la ecuación obtenida:

Ec. 2

Mediante la prueba, t de Student de los coeficientes, se encuentra que la interacción X3X4, (resina recorte con pH) no es significativa, por lo que el modelo será:

Ec. 3

Posteriormente probando la adecuación del modelo con la prueba de Fisher se encuentra que para los objetivos previstos no se logra precisión en el pronóstico del modelo, por lo que se propone pasar a un modelo completo o uno cuadrático.

Para este fin la matriz de diseño se completa para obtener un diseño compuesto central aprovechando los datos ya obtenidos siendo α = 2(4-1/)4. Los coeficientes de las ecuaciones se calcularon por las ecuaciones mostradas en González et al;( 2021)

La ecuación encontrada fue:

 EC 4

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

Del modelo encontrado se pueden encontrar los valores de las variables según las exigencias de los clientes nacionales o internacionales minimizando los costos

**Ejemplos 5 de Diseños Experimentales de Mezclas.**

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos** **mediante planificación experimental:**

El ejemplo aquí presentado, se enmarca dentro de la continuidad de un sostenido esfuerzo por incrementar la competitividad de las empresas productoras de papel para ondular, empleando para ello de forma parcial pulpas alternativas, entre las cuales se sitúa en un marco de interés; el uso de papel reciclado, así como las fibras obtenidas con el proceso *Organosolv* (etanol – agua) a partir de bagazo de caña (Turrado et al, 2001).

**Resultados**

Las pulpas *Organosolv* tanto para la variante establecida en base a la experiencia de la Universidad de Guadalajara/ México, como la experiencia de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas/Cuba con 1,5 por ciento de sosa se refinó durante 15 minutos y 11 S. R. y para las variantes de 3 por ciento de sosa la refinación fue de 10 minutos para 13,5 SR con las pulpas obtenidas se hizo un diseño enrejado simple de 6 puntos y se formaron hojas de 135 g/m² y se evaluaron de acuerdo a las normas para obtener el aplastamiento de la forma ondulada CMT en sus valores puros como vértices de un triángulo de estudio de mezclas ternarias y mezclas al 50 por ciento de:

a) Recorte y bagazo semiquímica, b),Recorte y *Organosolv* mexicana, c) Recorte y *Organosolv* cubana

Esta concepción de diseño se repitió para el caso de pulpas al 1,5 y el 3 % de sosa obteniendo ecuaciones del tipo:

Ec. 5

Donde:

b1 = Y1 = CMT del componente puro 1 (Pulpa *Organosolv*); b2 = Y2 = CMT del componente puro 2 (reciclado); b3 = Y3 = CMT del componente puro 3 (semiquímica de bagazo); b12 = 4Y12-2Y1- 2Y2; b13 = 4Y13-2Y1- 2Y3; b23 = 4Y23-2Y2- 2Y3; X1 = Fracción del componente 1 puro;X2 = Fracción del componente 1 puro;X3 = Fracción del componente 1 puro;= X1 + X2 + X3

Los resultados encontrados para los cuatro tipos de pulpa organosolv obtenidas y las diferentes composiciones de las mezclas con hojas formadas en el laboratorio permitieron obtener los modelos correspondientes:

Así para la para la determinación de las formulaciones necesarias para cada tipo de Pulpa Organosolv en mezclas con papel reciclado, se partió de la propiedad de los modelos de mezcla ternaria de ser reducidos a modelos de mezclas binarias haciendo cero el valor del tercer componente (González et al; 2021), con ello, partiendo de la experiencia productiva se fijó como requerimiento de CMT de acuerdo con la Norma de calidad para un entorno al óptimo, es decir 140,58, de ahí las ecuaciones se reducen para todos los casos.

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

Fijando como requerimiento 140,58 de CMT “Concora Medium Test”, los valores que se obtienen con una formulación de Recorte y Pulpa Semiquimica de Bagazo organosolv, se obtuvieron las siguientes proporciones por variante:

1. Mezcla de 65 % Recorte y 35 % de Pulpa Organosolv obtenida con 1,5 % de Sosa y de Bajo nivel de Etanol.
2. Mezcla de 33 % de Recorte y 67 % de Pulpa Organosolv obtenida con 1,5 % de Sosa y Alto nivel de Etanol.
3. Mezcla de 85 % Recorte y 15 % de Pulpa Organosolv obtenida con 3,0 % de Sosa y de Bajo nivel de Etanol.
4. Mezcla de 74 % de Recorte y 26 % de Pulpa Organosolv obtenida con 3,0 % de Sosa y Alto nivel de Etanol.

Por lo anterior las mejores posibilidades desde el punto de vista de costo de producción e impacto ambiental son las de utilización la primera variante

***Ejemplo 6 Mezclas para la fermentación alcohólica***

**Situación que origino la búsqueda de conocimientos** **mediante planificación experimental:**

La búsqueda de nuevas formulaciones para la fermentación de etanol ha sido pertinente desde hace años. Precisamente, motivado por lo novedoso del tema en estudio, uno de los posibles usos del licor hidrolizado, puede ser en la formulación de mezclas azucaradas para la obtención de etanol, de ahí que explorar las posibilidades de estas formulaciones brindará un sustrato azucarado al proceso, lo cual favorecerá en un menor consumo de miel y agua

**Desarrollo**

**Diseño de experimentos de las mezclas de sustratos azucarados**

Para las fermentaciones alcohólicas a nivel de laboratorio, se fijaron las mismas condiciones de trabajo de una planta de etanol, partiendo del prefermento preparado en la fábrica.

Los sustratos azucarados utilizados fueron: miel final (MIEL), jugo de los filtros (JF) e hidrolizado de bagazo (HID).

Para la preparación de las mezclas se fijaron las condiciones finales para una concentración de 120 g/L. (16oBx, equivalente).

Para el estudio de mezclas de sustratos azucarados se realiza un diseño de mezclas enrejado simplex con variable respuesta % alcohólico (ALC) alcohol en volumen por 100. La determinación de la concentración de etanol g/L se realizó en una columna de HPLC LY9100.

El modelo de ajuste es el siguiente:

Y1=5,35333\*X1+4,36\*X2+4,30667\*X3-0,813333\*X1\*X2-0,306667\*X1\*X3+ 2 ,82667\*X2\*X3+ 10,7202\*X1\*X2\*X3 Ec 6

Partiendo del modelo cubico especial, en la optimización del modelo, maximizando la variable de salida Y1, para la mezcla de los tres componentes, con las siguientes composiciones: X1: 0,299, X2: 0,342 y X3: 0,358, para un % alcohólico de 5,26.

**Conclusiones especificas del caso de estudio para la gestión de conocimientos:**

Los resultados permitieron concluir que la utilización de licor hidrolizado de bagazo en la fermentación de mezclas de sustratos azucarados, con mieles y jugos de los filtros, se obtienen resultados satisfactorios. (Morales-Zamora et al., 2016)

Otras aplicaciones del método han sido reportadas para los estudios de mezcla en la producción de etanol utilizando meladura y corrientes intermedias (de la Cruz et al; 2021)

**Conclusiones:**

1. La aplicación de los métodos de planificación experimental es una vía para la obtención y procesamiento acelerado de información para proponer decisiones para el desarrollo de la industria química.
2. Para acelerar los resultados y enfoques multilaterales de las investigaciones, los métodos de planificación experimental son un poderoso arsenal metodológico en la solución de problemas actuales y prospectivos de la industria no solo el desarrollo de los procesos, sino también la dirección de estos con vista a mantenerlos siempre en los regímenes y rutas deseadas.
3. Los riesgos que implica el desarrollo competitivo pueden minimizarse, empleando los métodos de planificación experimental como herramientas para el desarrollo de la gestión del conocimiento en la industria de procesos químicos.

**Referencias bibliográficas**

1. Alemán Hurtado, L. Mamay Toure, B. E González Suárez, Y. Albernas Carvajal y Y Fleites Ávila Planes Experimentales para medir la incidencia de variables tecnológicas en los indicadores de una inversión. Revista Centro Azúcar , Vol 48, Nro 3 2021
2. Box, G. E. y Hunter, W. (1961). A useful method for model - building. Madison.
3. Box, G. E. y Wilson, K. (1951a). On ther Experimental Design Attaimeat of optimum Condition. Journal Rev. Stat. Soc. 13.
4. Cerda-Mejía, M Ángel Ramos Figueroa, G Leonardo Cerda Mejía, E Guardado Yordi, E González Suárez, I Benítez Cortes, y A Pérez Martínez Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada ConBraPA 2020 1Ra Conferencia Brasileira de Planeamiento Experimental y Análisis de Datos
5. De la Cruz Soriano R., González Suárez E. J. Pedraza Garciga J., Miño Valdés Juan E. Plan experimental de mezclas para diseñar un sistema de tratamiento de sustratos no convencionales para producir etanol. vol 3 Nro 1 de +ingenio .??
6. González-Suárez, E.; Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular. Tesis en opción al grado científico a doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. 1982
7. González-Suárez, E., y Otero, J. (1983). Determinación del efecto del incremento de la temperatura en la disminución de los tiempos de cura durante el recape. Tecnología Química, 4(1-2-3–4), 139–157.
8. González-Suárez, E., Ramos, F., Ribot, A., y Peralta-Suárez, L. M. (1986). Combinación de los métodos de diseño experimental en la minimización de los ensayos de una investigación. Rev. Tecnología Química, 7(1), 11–18.
9. González-Suárez, E., Ribot, A., y Vega, I. (1980). Estudio preliminar del modelo matemático del refinador de discos simples para pulpa de bagazo semiquímica. Centro Azúcar, 7(1), 3–16.
10. González Suárez, J. En Miño, D N. Concepción Toledo, Diseño factoriales buscando condiciones óptimas para la gestión del conocimiento en procesos de la industria química. VII Conferencia Internacional Ciencia y Tecnología por un desarrollo sostenible. Camagüey, 2017
11. González Suárez; E. A Pérez Sánchez; D N. Concepción Toledo; V Rodrigo Cerda Mejía; J E Miño Valdés Gestión del conocimiento en la industria de procesos con apoyo de herramientas matemáticas, 10ma JIDeTEV , Misiones, Argentina 2020
12. González Suárez E., Curbelo Sánchez A, Miño Valdés J.E;;de León Benítez, J. B. Revista Ingenio. Diseños de Experimentos en la Búsqueda de las Condiciones Óptimas para la Transferencia de Tecnologías vol 3 Nro 1 de +ingenio ¿? 2021a
13. González Suárez, E.; D N. Concepción Toledo, J E Miño Valdés A Pérez Martínez V Cerda Mejías Gestión del conocimiento en la industria de procesos con apoyo de herramientas matemáticas. Editorial Feijoo. ISBN Nº 978-959-312-437-9 Villa Clara 2021b
14. Mesa Garriga, L., González Suárez, E., Mamady Toure, B., López Bello, N. y Cortés Martínez, R. (2021) Planes experimentales al estudiar la hidrólisis ácida de aserrín de pino para producir etanol. Revista Centro Azúcar, Vol. 48, No. 2, pp. 89-102, ISSN. 2223-4861.
15. Morales-Zamora, M., González-Suárez, E., y Mesa-Garriga, L. (2016). Avances en la obtención de tableros de fibras a partir de mezclas de residuales lignocelulósicos de bagazo. Afinidad, 73(575), 205–209.
16. Plackett, R. L., y Bürman, J. P. (1946). The Design of Optimum Multifactorial Experiments. Biometrika, 33(4), 305. https://doi.org/10.2307/2332195
17. Cerda-Mejía, V.R. M Ángel Ramos Figueroa, G Leonardo Cerda Mejía, E Guardado Yordi, E González Suárez, I Benítez Cortes, y A Pérez Martínez Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada ConBraPA 2020 1Ra Conferencia Brasileira de Planeamiento Experimental y Análisis de Datos. Brasil, 2020
18. Scheffé, H. (1958). Experiments With Mixtures. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 20(2), 344–360. https://doi.org/10.2307/2983895
19. Turrado Saucedo, J. M., Pajón, P., González-Suárez, E., Saucedo, A. R., y Salvador Pérez, S. (2001). Medium Test value of Médium Paper Using Sugar Bagasse in the Furniture. IPPTA Journal. India, 12(2). Williams, E. J. (1959). Regression analysis. New York: John Wiley y Sons, Incorporated