

870118

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALSA FE ORIGINAL

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE ELABORACION DE PULPA PARA
PAPEL A PARTIR DE LA FIBRA DEL AGAVE FOURCROYDES
POR EL METODO PEROXI-ALCALINO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

JUAN MANUEL MONTAÑO GUERRERO

ASESOR: I.Q. TITO ENRIQUE HERRERA LARRASILLA

GUADALAJARA, JAL., 1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	7
CAPITULO I	
Métodos de obtención de pulpa para papel	8
Ventajas y desventajas	17
CAPITULO II	
Descripción botánica. Clasificación	21
Análisis	25
CAPITULO III	
Parte experimental	26
Pruebas preliminares	30
CAPITULO IV	
Resultados e interpretaciones	33
RESUMEN	40
DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	43
Apéndice 1	45
Apéndice 2 A	50
Apéndice 2 B	53
BIBLIOGRAFIA	55

INTRODUCCION

Antes de que el papel se inventara, el hombre esculpía sus anotaciones en piedra, las inscribía en lápidas de arcilla o las escribía en papiro o pergamino. El papiro fué el precursor del papel y se hacía en Egipto desde épocas tan remotas como el año 2400 a. de C.

El descubrimiento del arte de fabricar papel, según todas las posibilidades, pertenece a los chinos aproximadamente al año 105 de la era cristiana, y se le acredita a Ts'ai-Lun. Desde entonces muchas fibras se han usado para su manufactura, entre estas se han incluido las fibras liberianas - de la linaza, y de la morera del papel, los tallos del bambú y otras gramíneas, varias fibras de hojas, el pelo de la semilla de algodón y las fibras leñosas de los árboles.

Hace poco más de un siglo que la industria papelera comenzó a usar la madera como materia prima. Antes del empleo de la fibra de madera, las principales fuentes de fibras habían sido el algodón y el trapo de lino. Los abastecimientos limitados de trapo viejo habían retardado la industria, y su escasez había originado, con frecuencia, problemas graves a los fabricantes de papel. La disponibilidad de grandes cantidades de una nueva materia prima que es un recurso natural renovable, permitió que las cantidades elaboradas de pulpa, papel y cartoncillo se expandiera grandemente con el trans-

curso de los años.

La fabricación de pulpa y papel es una de las indus---trias más antiguas y más grandes del mundo. Es difícil compa---rar, en tamaño esta industria con otras, debido a los múlti---ples usos tanto de la pulpa como del papel y a la acumula---ción de valores de los muchos productos hechos con estos ma---teriales básicos.

El papel ha adquirido una importancia tal en la vida mo---derna que no se concibe actividad humana sin su uso. No es ----posible imaginar una escuela, un centro comercial, un hogar---o cualquier otra empresa o negocio donde no se utilicen deri---vados celulósicos. Hasta tal punto ha llegado la importancia de este producto que su consumo per cápita es uno de los más fieles indicadores del desarrollo económico y social de un ----país.

El tipo de fibra usada para fabricar papel es completa---mente diferente en diversos países, pero, desde un punto de---vista mundial, la madera representa el 85% al 90% de las ma---terias primas fibrosas consumidas.

El aumento del consumo del papel ha traído como conse---cuencia la desaparición de zonas forestales en el mundo a ra---zón de 150,000 m² por año (mayor que la superficie de Panamá Costa Rica y El Salvador juntos), esto ha levantado un cla---

mor en el mundo por la defensa de las áreas de reserva que ha limitado la oferta de materia prima maderera, por ésta -- razón se ha conducido a la investigación de nuevas fuentes de materia prima no maderera, provenientes de fibras vegetales, animales, minerales y artificiales.

Alrededor de 1970 se estableció el comité de fibras vegetales no maderables T.A.P.P.I. (Asociación técnica para la industria de pulpa y papel) en reconocimiento a la importancia mundial creciente de la utilización de diversos materiales fibrosos vegetales no maderables en la manufactura de -- pulpa, papel y cartón. Desde entonces se ha progresado considerablemente sobre todo respecto a los numerosos problemas -- técnicos involucrados en las fases del proceso cuando se utilizan estas materias primas.

Aunque en la actualidad los materiales fibrosos vegetales no maderables se usan en Norteamérica y Europa en forma limitada, representan una de las fuentes mayores de materias primas fibrosas en muchos de los países subdesarrollados del mundo. Su importancia puede hacerse mayor también para mu---chos de los países desarrollados considerando las predicciones de la tendencia futura del sorprendente consumo mundial de productos de papel después del año 2000. Se espera una carestía de fibra o por lo menos un muy aproximado balance con la demanda de madera.

Buscando previamente soluciones en nuestro país, México, a este futuro problema, se ha escogido para este trabajo el henequén, porque su estructura morfológica, composición química y material fibroso es de estrecha similitud a la planta de sisal, de la cual se realizaron estudios en Japón en el National Chemical Laboratory for Industry en 1982 por el Dr. Akio Mita, que comprobaron la posibilidad de utilizarla como pulpa para papel. Además, el henequén por su potencial de suministro enorme, puede jugar un papel importante en la satisfacción de los requerimientos futuros de materiales fibrosos vegetales no maderables, en especial en México, ya que es principalmente cultivado en el estado de Yucatán.

Por medio de varios procesos de obtención de pulpas celulósicas, la madera y otras plantas fibrosas se convierten en fibras para la fabricación de papel.

Bajo las condiciones iniciales de utilización limitadas de especies, las pulpas se clasifican simplemente en mecánica, al sulfito, a la sosa, y Kraft (al sulfato). Las mismas identificaciones han persistido a través de años, de muchos adelantos y cambios en la industria, aunque sus significados son mucho menos adecuados; diversas pulpas Kraft se están produciendo extensamente a partir de pino, maderas duras, bambú, y de muchas especies vegetales. A partir de una especie dada, se pueden producir diferentes tipos de pulpas de maderas duras usando variaciones de un sistema químico sencill

llo, tal como el de sulfito-bisulfito.

En el campo de la obtención de pulpas, a menudo se hace referencia a la calidad de la pulpa, la que generalmente se fija por medio de la resistencia y del color. Sin embargo, - las crecientes variedades de productos de papel y cartoncillo cumplen muchas funciones que no pueden ser satisfechas - solamente a base de resistencia y de color. En consecuencia, cada vez se está dedicando más estudio a las propiedades fundamentales de las pulpas y a los medios de evaluarlas.

La presión sobre el control de la contaminación se ha - hecho muy fuerte, no solo en los países de mayor desarrollo - relativo, sino que ha comenzado a tener vigencia en aquellos de menor desarrollo también. Esto ha conducido a la implantación de normas y regulaciones que obligan a incrementar inversiones en las instalaciones para control de los afluentes o a la introducción de procesos menos contaminantes.

Se utiliza en este estudio un nuevo método de elaboración de pulpa para papel llamado "Peroxi-Alcalino", que por sus características de acuerdo al trabajo de investigación - desarrollado por el Dr. Akio Mita en el National Chemical Laboratory for Industry of Japan, sobre obtención de pulpas no madereras, es menos contaminante que los actualmente empleados en la industria del papel y además promete ser más económico debido a la recuperación de reactivos, fácil manejo de-

la fibra (ahorro de energía y maquinaria). Es importante señalar, que en esta investigación se emplea una presión baja en comparación con las presiones utilizadas por el Dr. Akio-Mita en su investigación.

Antes de elaborar un producto a nivel industrial, se -- realiza en el laboratorio una serie de pruebas, con el fin - de estudiar las condiciones para obtener un producto de cali-dad y rendimiento aceptable.

En el año de 1957 G.E.P. Box Ph. D. publicó en la revista Applied Statistics, vol VI, no. 2, un trabajo bajo el título "Evolutionary Operation: A method for increasing Industrial Productivity", en el cual propone hacer cambios progra-mados en las variables que controlan un proceso y a través - de un análisis estadístico de los resultados, reprogramar -- las condiciones de operación de dichas variables, orientando el proceso hacia valores más eficientes de una variable res-puesta que intenta optimizarse.

El método estadístico que se emplea en esta investiga-ción es una versión simplificada de E.V.O.P. (Evolutionary - Operation) conocida por lo mismo como Simplex E.V.O.P. persi-gue el mismo objetivo que el E.V.O.P. original, siendo su -- aplicación mucho menos sofisticada y por lo tanto más adaptable a nuestra realidad industrial.

OBJETIVO

El fin principal de esta investigación es optimizar el proceso de elaboración de pulpa para papel, llamado Peroxi - Alcalino, por medio del método estadístico Simplex E.V.O.P., utilizando como materia prima la fibra del henequén.

Un beneficio que se obtendrá como consecuencia de este estudio, es el hecho de haber encontrado una nueva fuente de materia prima vegetal no maderera para la producción de pulpas celulósicas, que es de valiosa ayuda para la conservación de zonas forestales y la preservación ecológica. La cual a esta última también contribuye el método Peroxi-Alcalino por su colaboración a la no contaminación. Otro aspecto importante es aumentar el aprovechamiento que actualmente se le da a la fibra del henequén elaborando un producto nuevo - necesario y costeable a futuro.

CAPITULO I

METODOS DE OBTENCION DE PULPA PARA PAPEL

Existen dos tipos de procesos principalmente para la obtención de pulpa para papel: el proceso mecánico y el proceso químico, este último comprende varios procesos; a continuación haremos mención de ellos.

Pulpa mecánica:

En el proceso de pulpa mecánica, no interviene ningún tratamiento químico de ésta. Este proceso utiliza prácticamente toda la fibra de la madera que existe en el tronco, en la que se incluye tanto a la celulosa como a la lignina, -- mientras que los diferentes procesos químicos disuelven la Lignina en distinto grado, de modo que el rendimiento de las pulpas químicas es aproximadamente la mitad de la pulpa mecánica.

Las principales maderas son: abeto y pino balsámico, -- que son especies de coníferas de madera blanda. Tienen la -- ventaja de que pueden llegar a la fábrica flotando sobre los ríos.

El primer paso una vez que los troncos han llegado a la fábrica es limpiarlos y descortezarlos, el tamaño depende --

del molino empleado para la molturación, efectuándose ésta - en agua para eliminar el calor de fricción alcanzado con la piedra del molino y mantener una temperatura adecuada, la -- molturación (molienda) se lleva a cabo en ángulo agudo a la longitud de los troncos, con objeto de tener fibras más largas por desgarramiento y mejor que cortando en ángulo recto. A continuación, la mezcla de agua y pulpa procedente de los molinos se vierte en un foso situado debajo de los mismos y pasa a los depuradores gruesos o de astillas en donde se separan pedazos de madera relativamente grandes y astillas. -- Luego, la suspensión diluida se bombea a los depuradores finos, y la pulpa aceptada, a los espesadores en donde, respectivamente, se prepara para su uso en la fabricación de papel o para su empaque en forma de hojas o paquetes húmedos.

Pulpa Química:

Para fabricar pulpas altamente purificadas y de gran --- blancura es necesario extraer toda la lignina con un mínimo de pérdidas o degradación de carbonhidratos de las paredes celulares. Esto se lleva a cabo en dos etapas: consiste en preparar la pulpa liberando las fibras individuales para des---pués blanquearlas al grado deseado. La pulpa sin blanquear - se utiliza para bolsas, papel de envoltura, y cajas corrugadas, es de color amarillo o marrón oscuro.

La lignina está formada por unidades de fenilpropano --

unidas entre sí mediante diversos enlaces tipo eter y carbono-carbono.

El objetivo de las pulpas químicas consiste en solubili-
zar y separar la lignina de la madera dejando fibras indus-
triales constituidas por carbohidratos esencialmente puros.

Los procesos actualmente empleados en la obtención de -
pulpas para papel son tres:

- A la sosa.
- Al sulfato.
- . Al sulfito.

Los procesos a la sosa y al sulfato los describiremos -
juntos, teniendo en cuenta que actualmente sólo existen unas
cuantas fábricas de pulpa a la sosa: básicamente, todas las-
fábricas que comenzaron produciendo pulpa a la sosa, se han-
convertido en fábricas de pulpa al sulfato. Esto porque en -
el proceso de fabricación de pulpa a la sosa, se usa un li-
cor de cocción que consiste principalmente en sosa cáustica,
mientras que el proceso al sulfato difiere de el de la sosa-
porque en su licor de cocción utiliza sulfato de sodio junto
con hidróxido de sodio. A la presencia de sulfuro se debe la
mayor parte de la resistencia de la pulpa y la cocción más -
rápida del proceso al sulfato, en comparación con la pulpa a
la sosa.

A causa de esto, prácticamente todas las fábricas a la-sosa han incorporado el empleo de cuando menos una pequeña cantidad de sulfuro en su licor de cocción, así que, a la fecha, no hay diferencias esenciales entre los procesos a la sosa y al sulfato.

Proceso al Sulfato:

Una vez que los troncos de madera han llegado a la fábrica, éstos se descortezan en los descortezadores y se convierten en astillas por medio de varias cuchillas.

Estas astillas se lavan, por medio de transportadores, desde los silos de almacenamiento hasta los digestores, a los cuales se alimenta la cantidad máxima de ellas, por la parte superior del digestor. Al mismo tiempo se agrega licor de cocción. La relación de astillas y licor se controla cuidadosamente, así como la concentración de licor, el contenido de humedad y otras variables.

Las astillas de madera se cuecen, durante el tiempo --prescrito, bajo las condiciones apropiadas de presión y temperatura. El tiempo usual de cocción es de unas 2 a 4 hr., a una presión aproximada de 100 a 110 lb/plg² (7.0 a 7.7 Kg/cm²). Al cocerse la madera, destilan el aguarrás y otros --constituyentes volátiles, los cuales se condensan para venderse como subproductos.

Al final de la cocción, la pulpa y el licor se "soplan" dentro del tanque de descarga. El vapor a presión en el digestor es propulsor de esta descarga, y hace que el digestor quede limpio, listo para otra cocción. El vapor de la descarga se utiliza en calentar agua para el uso de la fábrica.

En el tanque de descarga quedan la pulpa y el licor negro que contienen los reactivos de cocción gastados, así como la lignina y otros sólidos extraídos de la madera. La pulpa y el licor negro diluido se bombean, pasando por los separadores de nudos a los elevadores de pulpa sucia, en donde - el licor que contiene el residuo soluble de la cocción se separa de la pulpa por lavado.

La pulpa lavada se depura entonces y se envía a la planta de blanqueo o a la fábrica de papel. Parte del licor negro de los lavadores se usa como diluyente para el licor de cocción y para la suspensión de pulpa sucia. El resto se manda a la unidad de recuperación de la fabricación de pulpa, - en donde se regeneran los productos químicos usados en la digestión.

Proceso al sulfito:

La lignina reacciona con el ión bisulfito en condiciones ácidas formando lignosulfatos solubles en agua. Se obtienen pulpas de color claro que se blanquean con facilidad. --

Para efectuar la eliminación de la lignina, es necesario que el reactivo llegue a los sitios de reacción.

Al principio se usaba álcali principal, pero como no se cuenta con un sistema de recuperación, la mayoría de los procesos a base de calcio, han suspendido sus operaciones o han cambiado a sodio magnesio o amoníaco, para los cuales sí -- existen sistemas de recuperación.

Elaboración: una vez descortezada y astillada la made--ra, ésta es colocada en un digestor que, por lo general, está hecho de acero dulce y revestido con mosaicos de cerámica resistentes a la corrosión, después de cerrar el digestor, - se bombea dentro de él la solución deslignificadora o ácido- de cocción. Se estima por lo general, que se agregan unos -- 2.250 Kg de licor por cada 0.5 Kg de madera seca a la estufa.

En el sistema ácido en caliente (el más usado), ya que- hay ácido en frío, el licor se agrega a una temperatura de - unos 80°C y 60 lb/plg² (4.2 Kg/cm²) de presión manométrica.- Este sistema de ácido en caliente tiene la ventaja de que -- con su empleo se pueden ahorrar unas dos horas de tiempo de- cocción y unos 910 kg de vapor por tonelada de pulpa. El sistema ácido en caliente permite proporcionar un ácido de coc- ción que contiene bióxido de azufre a una mayor concentra-- ción que el sistema ácido en frío, y esta mayor concentra--- ción aunada a la ventaja de una temperatura más alta, reduce

el tiempo requerido para que el licor penetre en las astillas y para que el digestor llegue a la temperatura de cocción, - lo cual, a su vez, disminuye el tiempo de cocción y aumenta la productividad.

En muchas instalaciones modernas, se practica dentro -- del digestor la circulación forzada del licor, extrayendo -- continuamente por el fondo del recipiente parte de la solu-- ción y regresándolo a la parte superior o viceversa. En es-- tas condiciones, el calentamiento indirecto del licor se lle-- va a cabo facilmente, pasando el licor en movimiento a tra-- vés de un cambiador de calor e introduciendo el calor sumi-- nistrado indirectamente por la condensación del vapor. Por - medio de este procedimiento se mantienen condiciones más uni-- formes de temperatura y concentración de reactivos en todo - el gran volumen de astillas en el digestor, con el resultado de que se puede producir una pulpa relativamente uniforme.

Del digestor se debe extraer algo del líquido, como ali-- vio lateral, para bajar el nivel del líquido y permitir el - alivio del gas del digestor sin obstruir las coladeras de la parte superior, que sirven para evitar el arrastre de asti-- llas o pulpa fuera del digestor.

En el sistema empleado para la introducción de calor, - la temperatura media del digestor se controla cuidadosamen-- te con un control automático. Después viene la descarga del-

digestor a un tanque grande. Cerca del fondo del digestor, - suelen encontrarse unas espreas de limpieza que permiten la - introducción de agua o licor gastado, con objeto de lograr - una descarga limpia.

Finalmente, la corriente de astillas y licor que salen - del digestor hacia el tanque de descarga, se dirigen por lo - general, contra el blanco constituido por una placa de acero - inoxidable, y el impacto de las astillas suaves contra este - blanco, rompe la estructura de las astillas que se reduce -- principalmente a fibras individuales de pulpa que entonces - se juntan en el fondo del tanque de descarga.

El líquido sulfítico gastado, se drena por el fondo del - tanque de descarga y puede descargarse al drenaje, o juntar - se para su proceso de recuperación.

La pulpa acuosa que queda en el fondo del tanque de de - carga, se lava entonces con agua hasta que esté casi libre - de licor gastado. Luego se suspende la pulpa en agua y se pa - sa por separadores de nudos, depuradores planos y areneros o - limpiadores centrífugos, para finalmente obtener la pulpa de - seada.

Otros tipos de Pulpas:

Se pueden usar varias combinaciones de tratamientos ---

químicos y mecánicos para producir pulpas con propiedades específicas.

Los procesos semiquímicos y quimicomecánicos de obtención de pulpa, se pueden situar entre los métodos clásicos de fabricación de pulpa mecánica y pulpa química, los cuales emplean fundamentalmente, ya sea energía mecánica o química, respectivamente, para la separación de fibras. Estos procedimientos intermedios en términos generales, se definen como procesos en dos etapas, que implican (1) un tratamiento químico moderado de la materia prima fibrosa para separar, parcialmente o, en cierto modo, degradar o afectar las uniones entre las fibras, seguido por (2) un tratamiento mecánico, denominado desfibración, que produce la separación de las fibras en una distancia apta para la fabricación de papel. Durante la etapa química también puede haber cierto grado de desfibración.

Por existir una separación parcial o alteración de los materiales que causan la unión entre fibras, estos procesos en dos producen rendimientos de pulpa que también se encuentran comprendidos entre los de la pulpa mecánica y los de las pulpas completamente químicas, o sea, en términos aproximados, entre 55 y 95 por ciento.

De acuerdo a las prácticas realizadas últimamente, los procesos quimicomecánicos difieren de los semiquímicos en --

que los primeros no producen cambios mayores en la lignina - de las uniones entre fibras.

Proceso Peroxi-Alcalino:

Este proceso emplea como reactivos: peróxido de hidrógeno e hidróxido de sodio; de ahí su nombre "Peroxi-Alcalino". Este proceso puede ser utilizado para fibras madereras y no-madereras, en la obtención de pulpa para papel.

Como anteriormente se dijo, fué desarrollado este proceso recientemente por el doctor Akio Mita en 1982, y aplicado con éxito en diferentes tipos de fibra.

Actualmente este proceso no tiene uso industrial, pero de acuerdo a las investigaciones realizadas hasta ahora, los resultados son muy buenos y prometedores.

Ventajas y desventajas:

Pulpa Mecánica:

Ventajas:

- Bajo costo en cuanto a la materia prima, dado que se utiliza prácticamente toda la fibra maderera.
- Las fibras rotas y desgarradas de la pulpa mecánica pueden absorber rápidamente la tinta de las prensas de impresión de alta velocidad; de periódicos, revistas y publicaciones

similares.

- Cuando se refina apropiadamente, se emplea con éxito en papeles "tissue", para toallas y similares.
- Es muy absorbente.

Desventajas:

- Es muy suave, voluminoso.
- Opaco.
- Sujeto a deteriorarse con el tiempo, especialmente a la -- luz solar.
- Débil.
- Alto costo en maquinaria.

Pulpa Química:

Ventajas:

- Recuperación de reactivos.
- Cuando se utilizan maderas ricas en resinas, se produce -- aguarrás y aceite de pulpa que son productos valiosos.
- El vapor generado en el horno de recuperación, es casi suficiente para operar la planta misma.

Desventajas:

- Es muy contaminante debido a la formación de sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y otros compuestos de azufre. Contribuye a la lluvia ácida, mala para la flora y la agricultura.

Proceso al Sulfito:

Ventajas

- Produce celulosa de alto contenido en forma alfa, para la formación del rayón.
- Recuperación de reactivos.

Desventajas:

- El proceso al sulfito ácido de calcio se usa con éxito solo para maderas que contienen resinas en cantidades muy pequeñas.
- Los procesos de recuperación de calor tienen serios inconvenientes debido a problemas de incrustación en la evaporación y no se recuperan los reactivos de proceso en forma de cenizas, con el problema de ser muy finas y de difícil eliminación.
- Es muy contaminante, contribuye a la lluvia ácida, mala para la flora y la agricultura.

Proceso Peroxi-Alcalino:

Ventajas:

- Fácil manejo de la fibra.
- Ahorro en cuanto a maquinaria de trabajo.
- No es contaminante.
- No ocupa mucho blanqueo la pulpa después del proceso.
- Se obtiene buena calidad de pulpa para papel.
- Recuperación de reactivos.

Desventajas:

- Alto costo del peróxido.
- El henequén posee proporcionalmente menor cantidad de celulosa que la madera.

CAPITULO II

DESCRIPCION BOTANICA

Clasificación.

El henequén es una planta xerófito, tipo fanerógamo, -- clase monocotiledónea, incluida en el orden liliales, en la familia agavaceas y en el género agave. Pertenece a la especie agave fourcroydes lemaire. Se le conoce también con los nombres de sisal yucateco o sisal mexicano.

El henequén se diferencia del sisal (agave sisalana perline) por el color de las hojas, que en aquel es gris, y -- por la presencia de espinas en sus bordes.

Sus principales características morfológicas son:

a) Planta.- La planta joven tiene una roseta de hojas - al nivel del suelo y, a medida que avanza en edad se forman nuevas hojas y un tronco corto de 1 a 1.5m de longitud. Las raíces fasciculadas y adventicias que emergen de la base del tallo son más que las del sisal. A partir de rizomas se originan brotes basales ó hijuelos que sirven como material de propagación.

b) Hojas.- Las hojas son rígidas, grises, de 1 a 2 m de longitud y de 10 a 15cm de ancho. En los márgenes tienen nu-

merosas espinas delgadas y curvadas, de 3 a 5mm de largo, y espaciadas de 1 a 3 cm, y una fuerte espina terminal de 2 a 5cm de largo.

c) Inflorescencia y flores. Hacia el final del ciclo de vida de la planta, el meristemo produce una panícula multifloral erecta, sobre un pedúnculo largo que puede alcanzar una altura de hasta 8m. Sobre las ramas de la inflorescencia se producen flores de color amarillo claro, de pedicelo corto, y de 5 a 6cm de largo. Los estambres y el pistilo tienen aproximadamente 4cm de longitud. Primero abren las flores de la rama inferior, cuando los estigmas de ellos son receptivos, los estambres de las flores de la rama inmediatamente superior se abren y vierten el polen para fertilizar las flores inferiores. La floración progresa hasta las ramas superiores de la inflorescencia.

d) Ovario. Tiene de 2 a 3cm de diámetro. En corte transversal presenta tres carpelos. Después de la fertilización el ovario se transforma en una cápsula ovoide, ligeramente estipulada y termina en punta. Varias semillas se producen en cada cápsula. A partir de las axilas de los pedúnculos florales se producen bulbillos que se pueden usar como material de propagación.

La planta produce cerca de 230 hojas durante su vida (20 a 30 años). Las células de las fibras son largas, con lumen grande.

El henequén prospera mejor en climas secos tropicales.- En Yucatán se cultiva con una precipitación pluvial de 760mm anuales, temperaturas de 10°C a 38°C, con inviernos secos y soleados, y en zonas que no son aptas para otros cultivos.

Como en el caso de otros cultivos de fibra dura, el henequén requiere de suelos ligeros, sueltos y con buen drenaje. Los suelos de Yucatán, en los cuales se cultiva con éxito son calcáreos.

El henequén es principalmente cultivado en México, Cuba y Sudamérica. En el interior del país la mayor parte se cultiva en el estado de Yucatán, siguiendo en mucho menor escala los estados de Tamaulipas, Chiapas y Sinaloa.

USOS

En México las principales fibras duras que se producen son henequén (*agave fourcroydes lemaire*), lechuguilla (*lonphanta heterocantha torrey*), maguey (*agave atrovirens lawr*), palma (*samuella carnerosana trelease*). De estas solo nos interesa para nuestro estudio el henequén, que se cultiva con el propósito de obtener de él su fibra; el cultivo del maguey se afecta más bien para la elaboración de pulque; en cambio toda la producción de lechuguilla y palma se obtiene de estas en estado silvestre.

A través de los años, el proceso de industrialización -

del henequén ha progresado, a tal grado, que actualmente se aprovecha integralmente la planta del henequén.

Los principales productos del henequén que se obtienen son: hilos agrícolas (Baler Twine o hilo para embalar y "Binder Twine" o hilo para engavillar), hilos comerciales, jarrias, cordeles, telas, sacos, alfombras, tapices, tapetes, fieltros bajo alfombra, arpillera, bramantes.

Como subproductos de la desfibración se obtienen la pulpa y los jugos del henequén, considerados en otro tiempo como desperdicio, actualmente son aprovechados.

De la pulpa se obtiene un forraje rico en proteínas y sustancias nutritivas para ganado vacuno, bovino y caprino, que vendrá a beneficiar a la industria ganadera y a la producción de leche, lácteos y carne.

De los jugos del henequén se obtienen esteroides para la industria químico-farmacéutica que son utilizados en la elaboración de hormonas y productos corticosteroides.

En el escenario de proyectos ahora están otros productos, tales como : paneles de aglomerado, mangueras de alta presión, vestidos de rayón durable, costales que son una mezcla de fibras naturales y sintéticas, papel.

La producción mundial se calcula en 200,000 toneladas - de fibra. El único país que produce henequén en gran escala es México, su producción anual es de 175,000 toneladas de fibra. El segundo país productor es Cuba con 10,000 toneladas, le sigue El Salvador con 2,000 toneladas.

ANALISIS

Se tomó como base para estudiar la posibilidad de obtener pulpa para papel de las fibras del henequén, el análisis realizado por el Ing. Q. Juan José Trujillo del Río en la -- Universidad Autónoma de Guadalajara.

Análisis Químico de las fibras del henequén.

Celulosa total.	75.8 %
Lignina	6.5 %
Pentosas	21.7 %
Resinas	1.1 %
Cenizas	1.0 %

Se realizó un pequeño análisis previo a la fibra a utilizar en esta investigación, para conocer el contenido de celulosa.

Se obtuvieron los siguientes datos:

Celulosa total	70.33 %
Solubilidad en alcohol-benceno . .	10.20 %

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

Desarrollo del proceso:

1) Preparación de la fibra.

Cuando la planta alcanza el tamaño ideal, las pencas -- son cortadas del tronco y transportadas hasta una desfibradora, obtenida la fibra se procede a secarla.

Regularmente en la fibra seca se encuentran entrelaza-- das fibras largas y fibras cortas, se separan y se cortan de una longitud aproximada de 2 a 2.5 cm con el fin de conser-- var una uniformidad, facilitar su manejo y homogeneizarla.

2) Muestreo.

Se determina la humedad de la fibra para hacer muestras de 5 gr de fibra en base seca, las cuales se utilizarán para realizar las diferentes pruebas.

3) Preparación de la muestra.

La muestra se prepara considerando una relación de 1:20 entre fibra y licor, con el propósito de que el licor cubra-

totalmente la fibra, para que el ataque sea uniforme.

El licor está formado por los siguientes reactivos: ---
NaOH, H_2O_2 y H_2O destilada.

4) Cocimiento de la fibra.

El cocimiento se efectúa en un digestor, dentro de él - se colocan dos muestras preparadas en vasos de precipitado, - cubriendo la boca del mismo de tal forma que no se introduzca ningún líquido en el interior del vaso.

Se deposita en el digestor agua suficiente para lograr una presión manométrica constante de 1 kg/cm^2 durante un -- tiempo determinado.

5) Lavado de la fibra.

Finalizado el cocimiento, la fibra se lava a fin de eliminar los reactivos que pueda contener y así poder analizarlas íntegramente.

6) Molienda y Filtración.

Después de lavadas las muestras, se toma una de ellas y se homogeneiza por medio de espas, enseguida se filtra a trávés de una maya, desechando la fibra que no logra filtrarse,

la cual es fibra no atacada.

7) Secado.

Lavadas y filtradas una de las muestras, se secan hasta obtener un peso constante en una estufa a una temperatura -- aproximada de 100°C.

8) Análisis.

La fibra que únicamente fué lavada después del cocimiento, se utiliza para determinar el número de Kappa (ver apéndice 2A).

Con la pulpa que se obtuvo después de la molienda y filtración, se determina el porcentaje de rendimiento, que se realiza de la siguiente forma:

Se seca la pulpa hasta peso constante y se pesa.

Se calcula el porcentaje de rendimiento dividiendo el peso de la pulpa seca entre el peso de la muestra de fibra seca, todo esto multiplicado por cien.

Selección de la variable respuesta.

El fin de la selección de la variable respuesta, es especificar la condición que se pretende optimizar.

La variable respuesta (Y) que se utilizará para evaluar este proceso es obtenida por la siguiente ecuación: $Y = (50 - K) + R$, la cual se determinó en base al número de Kappa (K) y el porcentaje de rendimiento (R).

La justificación de esta ecuación es la siguiente: una pulpa con un número de Kappa menor o igual que 50 es de calidad aceptable, por lo tanto, se le buscará en este rango, con lo cual ofrecerá una contribución positiva al primer término de la ecuación.

Las variables operativas que condicionan la determinación de los dos factores que definen la variable respuesta son: el tiempo de conocimiento, la concentración de NaOH y la concentración de H_2O_2 . Estas variables se manejan a diferentes niveles en cada corrida hasta encontrar el punto óptimo.

El punto óptimo será el que de el valor más alto de la variable respuesta, que se obtendrá encontrando el número de Kappa más bajo y el porcentaje de rendimiento más alto.

Determinación del número de Kappa.

El número de Kappa indica el grado de deslignificación y el blanqueo de la pulpa, y es inversamente proporcional a estos, motivo por el cual se busca en la optimización un nú-

mero de Kappa lo más bajo posible.

El contenido de lignina de las pulpas sin blanquear se puede determinar por mediciones directas, en las que la fracción que no es lignina de la pulpa se disuelva en H_2SO_4 al 72% o bien por mediciones indirectas tales como el número de Permanganato, el número de Kappa, y el número de Roe.

El número de Kappa representa el número de mililitros - de $KMnO_4$ 0.1 N absorbidos por X cantidad de pulpa libre de - humedad. (ver apéndice 2A).

Determinación del porcentaje de rendimiento.

El porcentaje de rendimiento es la cantidad de fibra -- real que se aprovecha para pulpa, tomando como base la fibra -- inicial. Esto depende del ataque que haya tenido la fibra -- por medio del cocimiento con los reactivos agregados.

Pruebas preliminares.

Previamente se realizaron varias pruebas con diferentes condiciones de trabajo, para estas, se tomó como base los resultados de investigación del Dr. Akio Mita que le comunicó-- personalmente al Ing. Q. Tito E. Herrera Larrasilla.

No. de expto.	X_1 (min)	X_2 (%NaOH)	X_3 (% H_2O_2)	% Rend.
1	150	25	6	74.65
2	150	30	6	73.26
3	180	25	6	72.40
4	180	30	6	71.89
5	120	20	9	70.96
6	120	20	10	70.83
7	165	20	9	70.23
8	165	20	10	68.97

Como no existía mucha diferencia en el porcentaje de rendimiento - de las pruebas preliminares, se optó por seleccionar el experimento que produjera la pulpa con mayor grado de blanqueo, - que fué el número 5, por lo tanto, las condiciones de operación que se tomaron como punto de partida para la optimización de este proceso utilizando el método estadístico - --- Simplex E.V.O.P. son las siguientes:

$$X_1 = 120 \text{ min.} \quad X_2 = 20\% \text{ en peso NaOH} \quad X_3 = 9\% \text{ en peso } H_2O_2$$

Ejemplo de una corrida:

Las variables operativas para esta corrida son las siguientes:

$$X_1 = 90 \text{ min.} \quad X_2 = 15\% \text{ en peso NaOH} \quad X_3 = 7\% \text{ en peso } H_2O_2$$

Se toma una muestra de 5 gr de fibra seca, a continuación se le agrega el 15% en peso de NaOH en base al peso de-

la muestra, que sería 0.75 gr de NaOH, si se tiene una solución de 0.98 l de NaOH se le agregan a la muestra 19.13 ml. En seguida se le deposita a la misma muestra el 7% en peso de H_2O_2 en base también al peso de la muestra, que serían -- 0.35 gr de H_2O_2 , si se tiene una solución al 3% de H_2O_2 se -- vierten 11.67 ml. Como la relación entre la fibra y el licor es de 1:20 se completan 100 ml de licor con 69.20 ml de agua destilada.

Después continúa el procedimiento partiendo del punto 4 del desarrollo del proceso en el capítulo III, con un tiempo de cocimiento para esta corrida de 90 minutos.

Una vez determinado el número de Kappa $K = 33.94$ y el -- porcentaje de rendimiento $R = 73.40$, se calcula la variable -- respuesta (Y) con la siguiente fórmula $Y = (50 - K) + R$, -- $Y = 89.46$.

Por lo tanto, para las siguientes condiciones:

$$X_1 = 90 \text{ min.} \quad X_2 = 15\% \text{ NaOH} \quad X_3 = 7\% \text{ H}_2\text{O}_2$$

se obtuvieron los siguientes resultados:

$$K = 33.94 \quad R = 73.40 \quad Y = 89.46$$

CAPITULO IV

RESULTADOS E INTERPRETACIONES

Aplicación del método Simplex-E.V.O.P.

Definición de variables: $X_1 = t$ (min)
 $X_2 = \text{NaOH}$ (% en peso)
 $X_3 = \text{H}_2\text{O}_2$ (% en peso)

Condiciones iniciales: $X_1 = 120$ min.
 $X_2 = 20$ %
 $X_3 = 9$ %

Límites de variación: $X_1 = 60$ min.
 $X_2 = 15$ %
 $X_3 = 8$ %

Diseño del experimento inicial. (ver apéndice 1)

Matriz

No. de expto.	X_1	X_2	X_3
1	$-r_1$	$-r_2$	$-r_3$
2	$+r_1$	$-r_2$	$-r_3$
3	0	$+2r_2$	$-r_3$
4	0	0	$+3r_3$
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	$2r_1$	$3r_2$	$4r_3$

$$2r_1 = 60 \text{ min}$$

$$3r_2 = 15\%$$

$$4r_3 = 8\%$$

$$r_1 = 30 \text{ min.}$$

$$r_2 = 5\%$$

$$r_3 = 2\%$$

Primer diseño

No. de expto.	X_1	X_2	X_3	Y
1	90	15	7	89.46
2	150	15	7	90.21
3	120	30	7	81.37
4	120	20	15	78.33

Efectuadas estas corridas iniciales, el propósito es reflejar la corrida en que resulta la variable respuesta más desfavorable con esto, dicha corrida será sustituida por otra, y así sucesivamente, buscando el punto óptimo. Para el reflejo del experimento más desfavorable ver apéndice 1.6.

En este caso el experimento número 4 dió la variable respuesta más desfavorable, al reflejarse la variable X_3 resultó incongruente con lo esperado, ya que no pueden existir concentraciones negativas.

Variables obtenidas del primer reflejo:

$$X_1 = 120 \text{ min.}$$

$$X_2 = 20\%$$

$$X_3 = -1\%$$

Por esta razón se elabora un segundo diseño, tomando co

mo condiciones iniciales las del experimento número 2, que -
dieron la variable respuesta más alta.

Los límites de variación se restringen más, con el fin-
de lograr una mayor efectividad en nuestro objetivo.

Punto de partida para el segundo diseño:

$X_1 = 150$ min. $X_2 = 15\%$ $X_3 = 7\%$

Límites de variación:

$X_1 = 30$ min. $X_2 = 9\%$ $X_3 = 6\%$

De acuerdo a la matriz se tiene:

$2r_1 = 30$ min. $3r_2 = 9\%$ $4r_3 = 6\%$
 $r_1 = 15$ min. $r_2 = 3\%$ $r_3 = 1.5\%$

Segundo diseño

No. de expto.	X_1	X_2	X_3	Y
5	135	12	5.5	91.28
6	165	12	5.5	94.09
7	150	21	5.5	90.20
8	150	15	11.5	101.13

El experimento número 7 dió el valor de la variable res-
puesta más bajo, se reflejó para obtener las condiciones del

experimento número 9, del cual se obtuvo el experimento más-desfavorable a todos los experimentos en general.

Al reflejar el experimento número nueve se repitieron - las condiciones del mismo. Por lo tanto, nuevamente se elabo ra un nuevo diseño, tomando como condiciones iniciales las - del experimento número 8, y restringiendo más los límites de variación.

Punto de partida para el tercer diseño:

$$X_1 = 150 \text{ min.} \quad X_2 = 15\% \quad X_3 = 11.5\%$$

Límites de variación:

$$X_1 = 15 \text{ min.} \quad X_2 = 6\% \quad X_3 = 4\%$$

De acuerdo a la matriz se tiene:

$$\begin{aligned} 2r_1 &= 15 \text{ min.} & 3r_2 &= 6\% & 4r_3 &= 4\% \\ r_1 &= 7.5 \text{ min.} & r_2 &= 2\% & r_3 &= 1\% \end{aligned}$$

Tercer diseño:

No. de expto.	X_1	X_2	X_3	Y
10	142.5	13	10.5	96.21
11	157.5	13	10.5	99.05
12	150	19	10.5	100.11
13	150	15	14.3	98.24

Las condiciones de trabajo después del experimento número 15 comienzan a repetirse.

A partir del experimento número 9 el valor de la variable respuesta disminuye, y por lo regular se conserva constante del número 11 al número 15, esto mismo ocurre con el número de Kappa y el porcentaje de rendimiento, los valores de este último, son aproximados al valor de celulosa total - contenido en las fibras de acuerdo al análisis químico presentado en el capítulo II, razones por las cuales se da por terminado el proceso de optimización.

El valor de la variable respuesta del experimento número 8 resultó ser el óptimo.

Condiciones de trabajo:

$X_1 = 150$ min. $X_2 = 15\%$ $X_3 = 11.5\%$

Resultado óptimo:

No. de Kappa.	Rendimiento	$Y = (50-K) + R$
$K = 20.37$	$R = 71.50$	$Y = 101.13$

Con objeto de comprobar el punto óptimo se realizó un experimento en las condiciones especificadas para el mismo valor, es decir: $X_1 = 150$ min. $X_2 = 15\%$ $X_3 = 11.5\%$

obteniéndose un valor de la variable respuesta de:

$$K = 20.35$$

$$R = 71.47$$

$$Y = 101.12$$

TABLA 4.1 CONDICIONES DE OPERACION, RESULTADOS DE LA VARIABLE RESPUESTA Y ORDEN DE REFLEJO DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS.

No. de expto.	X_1 (min)	X_2 (% NaOH)	X_3 (% H_2O_2)	No. K	R(% peso)	V_R	Orden de reflejo
1	90	15	7	33.94	73.40	89.46	--
2	150	15	7	34.99	75.20	90.21	--
3	120	30	7	37.23	68.60	81.37	--
4	120	20	15	31.07	59.40	78.33	1°
5	135	12	5.5	27.80	69.08	91.28	--
6	165	12	5.5	21.94	66.03	94.09	--
7	150	21	5.5	28.25	68.45	90.20	2°
8	150	15	11.5	20.37	71.50	101.13	--
9	150	5	9.5	33.97	61.98	78.01	3°
10	142.5	13	10.5	26.29	72.50	96.21	4°
11	157.5	13	10.5	22.46	71.51	99.05	--
12	150	19	10.5	21.19	71.30	100.11	--
13	150	15	14.3	23.16	71.40	98.24	5°
14	162.5	18.33	13.17	21.94	70.98	99.04	--
15	163.33	18.55	8.28	21.92	70.96	99.03	--

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fué optimizar el proceso de elaboración de pulpa para papel, a partir de la fi-bra del agave fourcroydes por el método Peroxi-alcalino.

La variable respuesta que se utilizó para evaluar este proceso fué obtenida por la ecuación: $Y = (50 - K) + R$ en la cual se expresa la combinación del número de Kappa y el rendimiento.

Las variables operativas que se utilizaron en este método son: el tiempo de cocimiento, la concentración de NaOH, y la concentración de H_2O_2 .

Partiendo de los estudios previos, realizados por el - Dr. Akio Mita en Japón, se realizaron pruebas preliminares - utilizando el método Peroxi-alcalino con el fin de encontrar las condiciones de trabajo que pudieran ser favorables.

A continuación, se recurrió a la aplicación del método matemático Simplex-E.V.O.P. para la optimización buscada.

Una vez establecidas las condiciones actuales de trabajo y fijados los límites de variación, se elaboró un primer diseño, en base al cual se realizaron los primeros experimentos. Fué necesario un segundo y tercer diseño con el propósi

to de lograr una mejor optimización.

Finalmente el punto óptimo resultó con las condiciones siguientes:

$$X_1 = 150 \text{ min.} \qquad X_2 = 15\% \qquad X_3 = 11.5\%$$

obteniendo como variable respuesta: $Y = 101.13$.

El número de Kappa resultó bajo, del orden de 20.37 lo cual indica una buena deslignificación y se requiere de poco blanqueo.

Los valores obtenidos de rendimiento son aceptables, - muy aproximados al porcentaje de celulosa total contenido en la fibra.

En realidad el método matemático Simplex-E.V.O.P. es - de valiosa ayuda para la industria, además, es de fácil manejo.

Se le atribuye al método la elaboración Peroxi-alcali no el importante beneficio de la preservación ecológica, por su contribución a la no contaminación debido a sus caracteristicas, y además, al hecho de utilizar fibra vegetal no maderable es de valiosa ayuda a la conservación de zonas forestales. Otro aspecto importante en este estudio es aumentar -

el aprovechamiento que actualmente se le da a la fibra de --
henequén, elaborando un producto nuevo necesario y costeable
a futuro.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Después de realizar una serie de pruebas controladas - por el método estadístico Simplex - E.V.O.P. se logró encontrar el punto óptimo obteniendo los siguientes resultados:

- El valor del número de Kappa más bajo, el cual indica el grado más alto de deslignificación en relación a los demás experimentos, esto significa que la pulpa requiere de menos blanqueo economizando así el proceso.

- El valor del porcentaje de rendimiento ocupa un cuarto lugar de los rendimientos más altos, aunque no resultó ser el máximo sin embargo su valor es muy aceptable, puesto que es muy aproximado al porcentaje de celulosa total, por lo tanto, esto indica que se aprovechó la mayor cantidad de celulosa.

- Antes de llevar a cabo en la realidad este proceso a un nivel industrial, es conveniente realizar un balance económico en el cual podría resultar más favorable otro punto cercano al óptimo, esto significa que no necesariamente se tiene que tomar el punto óptimo.

- Para obtener una mejor optimización se sugiere para una investigación posterior, elaborar otro diseño experimental en el cual se fijaría el tiempo de cocimiento, y, las va

riables operativas serían la concentración de NaOH y H₂O₂. - Puesto que los dos experimentos en que se obtienen las variables respuestas más altas tienen el mismo tiempo de coci---miento y diferente concentración de NaOH y H₂O₂.

- Por el fácil manejo de la fibra en relación al de la madera, produciría un ahorro de energía y maquinaria, etc.

APENDICE - 1

GENERALIDADES SOBRE EL SIMPLEX - E.V.O.P.

El método que se describirá a continuación es una versión simplificada de E.V.O.P. conocida por lo mismo como Simplex-E.V.O.P.

Para aplicar este método, se requiere cubrir las siguientes etapas:

- 1.- Definir las variables.
- 2.- Especificar los límites de variación.
- 3.- Diseñar el experimento inicial.
- 4.- Realizar la corrida inicial.
- 5.- Analizar la información.
- 6.- Reflejar el punto más desfavorable.
- 7.- Realizar el nuevo experimento.

Continuando hasta alcanzar las condiciones óptimas de operación del proceso.

1.- Definición de variables.

Primero se define cual es la variable respuesta, es decir que condición del proceso se pretende optimizar, por ejemplo: el rendimiento de una reacción, el peso molecular promedio de un polímero, el color de un producto, etc.

En algunos casos la variable respuesta puede ser más compleja, formada por un conjunto de condiciones, como por ejemplo: la síntesis de una resina debe tener temperatura de reblandecimiento adecuada, color bajo y un buen rendimiento en su obtención. En este caso el valor numérico de la variable respuesta se podría obtener en forma subjetiva tomando en cuenta la importancia relativa de cada condición y el valor obtenido para cada una de esas condiciones a través del proceso.

Una vez perfectamente bien establecida la variable respuesta, deberá definirse qué variables operativas la afectan en forma importante, como por ejemplo: la temperatura, presión, agitación, concentración, etc. Estas variables manejan a diferentes niveles en cada corrida, permitirán optimizar la variable respuesta.

2.- Límites de variación.

En cada proceso específico, pueden variarse los niveles de las variables operativas de cierto rango sin peligro. Este límite de variación deberá estipularse para cada variable operativa con objeto de manejar el proceso en condiciones adecuadas durante cada experimento.

3.- Diseño del experimento inicial.

La corrida inicial estará formada por un número de experimentos igual a $n + 1$, en donde "n" es el número variables operativas especificadas anteriormente.

Para diseñar esta corrida, se utiliza la siguiente matriz de diseño en la que $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$, son los rangos de variación permitidos para las variables operativas $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, respectivamente:

Experimento Número	Variable Operativa					
	x_1	x_2	x_3	x_4	.....	x_n
1	$-r_1$	$-r_2$	$-r_3$	$-r_4$	.....	$-r_n$
2	$+r_1$	$-r_2$	$-r_3$	$-r_4$	.....	$-r_n$
3	0	$+2r_2$	$-r_3$	$-r_4$	.....	$-r_n$
4	0	0	$+3r_3$	$-r_4$	.....	$-r_n$
5	0	0	0	$+4r_4$	.....	$-r_n$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$n + 1$	0	0	0	0	.....	$+nr_n$

4.- Corrida inicial.

Una vez diseñados los $n + 1$ experimentos que forman la

corrida inicial, se realizan estos, anotando para cada uno de ellos el valor obtenido de la variable respuesta.

Es conveniente correr los experimentos por duplicado y en algunos casos por triplicado para a través de un análisis de variancia comprobar si existe una diferencia significativa entre los diferentes resultados de la variable respuesta. Esto permitirá manejar la información con mayor seguridad.

5.- Análisis de la información.

Obteniendo los valores promedio de la variable respuesta para cada experimento y habiendo detectado su rango de variación debida al error experimental, se comprueba qué experimento dió el resultado más bajo de la variable respuesta, con objeto de conocer las condiciones desfavorables y "reflejar" este punto a través de un nuevo experimento.

6.- Reflejo del punto más desfavorable.

Una vez determinado el punto más desfavorable en base al valor de la variable respuesta, éste es reflejado y sustituido por uno nuevo, en la forma siguiente: se tomarán en cuenta los $n + 1$ experimentos menos el más desfavorable, con sus respectivos valores de las variables operativas.

1.- Se suman los valores del mismo tipo de variable de

cada una de las corridas y se calcula el promedio.

2.- Este promedio se multiplica por dos.

3.- Finalmente al resultado obtenido se le resta el --
valor de la variable del experimento reflejado, co
nociendo así el nuevo valor de la variable operati
va.

7.- Realización del nuevo experimento.

El nuevo experimento sustituirá al experimento refleja
do.

Tomando en cuenta ahora todos los experimentos con --
excepción del que fué reflejado, se observará cual es el que
originó el menor rendimiento y este se reflejará siguiendo -
el procedimiento antes descrito, continuando en esta forma -
hasta alcanzar el objetivo deseado.

APENDICE - 2A

DETERMINACION DEL NUMERO DE KAPPA

Se pesan 0.5 a 0.65 grs de la muestra, base seca, se de integran en una licuadora con 250 ml de agua destilada para luego vertirse en un matraz Earlen-Meyer completando hasta - un volumen de 400 ml, utilizando esta agua para enjuagar la licuadora. En seguida se adicionan simultáneamente 50 ml de KMnO_4 0.1 N y 50 ml de H_2SO_4 4N.

Después de 10 min, se agregan 10 ml de KI 1 N y se titu la la solución con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N, empleando como indicador - una solución de almidón.

Haga un blanco usando el mismo procedimiento pero sin - pulpa, en este caso se puede titular inmediatamente, sin con tar los 10 minutos.

$$\text{Cálculos: } K = \frac{P \times f}{w} \qquad P = \frac{(b-a)(N)}{0.1}$$

Donde:

N= Número de Kappa.

P = ml. de KMnO_4 consumidos por la pulpa.

f= Factor de corrección; depende de P, se obtiene de la ta-- bla anexada enseguida.

b = ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación del blanco.

a = ml. de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación de la muestra.

w = gramos de la muestra seca.

N = Normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

TABLA DE OBTENCION DEL FACTOR "f" EN FUNCION DE "p"
 PARA EL NUMERO DE KAPPA

"p"	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.897	0.900	0.902	0.904	0.905	0.906	0.911	0.911	0.913	0.915
10	0.917	0.920	0.922	0.923	0.925	0.927	0.929	0.932	0.933	0.935
20	0.937	0.939	0.940	0.942	0.945	0.946	0.948	0.957	0.953	0.955
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.988	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

APENDICE - 2B

CALCULO DEL NUMERO DE KAPPA

Para calcular el número de Kappa (K), se necesita conocer primero:

b : ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación del blanco.

a : ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación de la muestra.

N : Normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Con estos datos se calcula (P) con la siguiente fórmula:

P : ml de KMnO_4 consumidos por la pulpa.

$$P = \frac{(b - a) (N)}{0.1}$$

Una vez conocido (P), se utiliza para leer el valor de (f) en la tabla anexada enseguida.

f : Factor de corrección

La tabla se usa de la siguiente forma:

Para un valor de (P) le corresponde un valor de (f), el cual será donde crucen la línea de las décimas con la columna de las unidades. Si (P) es fraccionario el valor de (f) - se obtiene interpolando.

Por último se calcula (K) con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P \cdot f}{w}$$

w: gr de la muestra seca

APENDICE - 2B

CALCULO DEL NUMERO DE KAPPA

Para calcular el número de Kappa (K), se necesita conocer primero:

b : ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación del blanco.

a : ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastados en la titulación de la muestra.

N : Normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Con estos datos se calcula (P) con la siguiente fórmula:

P : ml de KMnO_4 consumidos por la pulpa.

$$P = \frac{(b - a) (N)}{0.1}$$

Una vez conocido (P), se utiliza para leer el valor de (f) en la tabla anexada enseguida.

f : Factor de corrección

La tabla se usa de la siguiente forma:

Para un valor de (P) le corresponde un valor de (f), el cual será donde crucen la línea de las décimas con la columna de las unidades. Si (P) es fraccionario el valor de (f) - se obtiene interpolando.

Por último se calcula (K) con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P \cdot f}{w}$$

w: gr de la muestra seca

K : Número de Kappa.

Ejemplo:

$$b = 40.2 \quad a = 28.3 \quad N = 0.1$$

$$P = \frac{(40.2 - 28.3) (0.1)}{0.1}$$

$$P = 11.9$$

Según la tabla:

$$P = 11 \quad f = 0.920$$

$$P = 12 \quad f = 0.922$$

Interpolando para un valor de $P = 11.9$ le corresponde -
un valor de $f = 0.9216$.

Por último se calcula (K)

$$K = \frac{(11.9) (0.9216)}{0.5}$$

$$K = 21.93$$

BIBLIOGRAFIA

- 1.- C. Earl Libby. "Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel".
1a. y 2a. edición
Editorial C.E.C.S.A.
- 2.- Sría. General de O.E.A. "Celulosa y papel"
Ciencia Interamericana.
Vol. 22, nos. 3-4
Dic. 1982.
- 3.- Sría. de Educación Pública (S.E.P.) "Cultivos de fibras"
Manuales para la Educación Agropecuaria
1a. edición.
Editorial Trillas.
Septiembre de 1982.
- 4.- Ing. Humberto Carrancá T. "La industrialización del henequén en Yucatán".
Depto. de Investigaciones Industriales del Banco de México.
No. 47.
- 5.- Dr. Akio Mita. "Hydrogen Peroxide-Alkaline pulp prepared from cane bagasse"
National Chemical Laboratory for Industry.
1982.
- 6.- Bennett, E.H. "Introduction to Evolutionary -- Operation".
Industrial and Engineering Chemistry.
Vol. 52, June 1960, 500.
- 7.- Barnett, C.A. And R.L. Franklin. "Statistical -- Analysis in Chemistry and the -- Chemical Industry".
New York; John Wiley & Sons, Inc.
1954.
- 8.- Box, G.E.P. "Evolutionary Operation: A method for Increasing Industrial - Productivity".
Applied Statistics, vol. VI, -- No. 2.
1957.

9.- Box, G.E.P.

"The Exploration and Exploitation
of Response Surfaces".
Biometrics 10, 16-60, 1954.

10.- Box, G.E.P. and
Draper, N.R.

Evolutionary Operation a Statis-
tical method for Process.
1a. ed. John Wiley, 1959.