

300618



UNIVERSIDAD LA SALLE

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

1
2ej

DESARROLLO DEL PROCESO Y DISEÑO
DEL EQUIPO PARA LA FABRICACION
DE UN YODOFORO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
HECTOR ABAROA LANCE
MARIO NAVA CASTRO

DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE E. GARCIA ACEVEDO

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1992



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.

I N D I C E

	PAGINA
1. INTRODUCCION.....	1 - 5
2. CAPITULO I. BASES TEORICAS.....	6 - 49
2.1 Propiedades del yodo.....	7
2.2 Propiedades físicas.....	7
2.3 Propiedades químicas.....	11
2.4 Agentes tensoactivos.....	15
2.5 Yodóforos.....	18
2.6 Estructura físico-química de los yodóforos.....	25
2.7 Coeficiente de distribución.....	32
2.8 Acido fosfórico.....	34
2.9 Usos del yodóforo.....	35
2.10 Análisis del proceso de elaboración.....	44
3. CAPITULO II. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	50 - 182
3.1 Efecto de la temperatura en el tiempo de elaboración, rendimiento y estabilidad del yodóforo concentrado.....	55
3.2 Influencia de la concentración de yodo metálico sobre el rendimiento y costo del producto final.....	97
3.3 Influencia de la proporción de los tensoactivos en el comportamiento del complejo.....	134
3.4 Influencia del pH (cantidad de ácido fosfórico) en el producto final.....	162

3.5	Influencia del tiempo de agitación en el rendimiento y degradación del yodóforo concentrado.....	186
4.	CAPITULO III. DISEÑO DEL EQUIPO.....	183-
4.1	Balance de materia.....	185
4.2	Balance de energía.....	187
4.3	Lote óptimo.....	188
4.4	Diseño del agitador.....	194
4.5	Cálculo de transferencia de calor en el tanque enchaquetado.....	200
5.	CONCLUSIONES.....	206
6.	BIBLIOGRAFIA.....	208

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo el yodo es conocido como un germicida inespecífico y de rápida acción que combate bacterias, virus y hongos causantes de muchas enfermedades.

El yodo es mucho más efectivo desde el punto de vista de costo, concentración y de capacidad que los germicidas de amonio cuaternario, fenólico o clorados. No obstante, el uso del yodo elemental no se ha extendido por su poca solubilidad en agua, produce coloración a las superficies con las que entra en contacto, su olor, su corrosividad y su alta toxicidad al hombre; por lo cual, se usan germicidas menos efectivos en diversas aplicaciones.

Los yodóforos (complejo transportador de yodo) se desarrollan para superar las desventajas del yodo elemental, mejorando aun la acción germicida y obteniendo ventajas sobre otros bactericidas como son:

- * Alta actividad germicida.
- * Alto poder penetrante.
- * Amplio campo de aplicación.
- * Irritante moderado.
- * Actividad bactericida medible por la coloración ámbar de la solución.
- * Inafectable por aguas duras.
- * Inafectable por detergentes.
- * Económico.

- * Baja toxicidad.
- * Excelente solubilidad en agua.
- * Reduce problemas de corrosión.
- * Disponibilidad para determinación de actividad (valoración volumétrica).
- * Es de acción muy rápida, más rápida que los bactericidas clorados o hipocloritos, y mucho más rápido que los bactericidas de amonio cuaternario, fenólicos, etc., en concentraciones donde todos estos son bacteriostáticos, el yodóforo es bactericida.
- * Es efectivo en concentraciones tan bajas como 25 p.p.m. de yodo, teniendo la misma eficiencia en 10 seg. que en un minuto, para operaciones de desinfección en plantas procesadoras de alimentos.
- * Es efectivo a bajas temperaturas, donde otros agentes pierden su poder germicida.
- * Retiene actividad germicida de yodo libre.
- * Tiene una presión de vapor muy baja, por lo que el olor y las pérdidas por sublimación se reducen sensiblemente.
- * La pérdida del yodo por la presencia de materia orgánica es muy baja.
- * Posee propiedades detergentes, mayor humectación y mayor penetración.
- * Los yodóforos no son solamente más rápidos, sino también más efectivos, ya que matan más gérmenes por unidad de yodo libre, que los que matan los otros por unidad de cloro, amonio ó fenol.

A una temperatura de 25°C, una solución de yodóforo con 50 p.p.m. de yodo, tiene una eficiencia germicida comparable con otra solución

con 300 p.p.m. de amonio cuaternario, en agua con 200 p.p.m. de dureza.

A temperaturas más bajas ó con un contenido de dureza mayor en el agua, es necesario aun más amonio cuaternario para compararse con el yodóforo, en eficiencia germicida (la dureza en el agua no afecta el poder germicida del yodóforo entre límites desde 50 hasta 5000 p.p.m. de dureza).

En general, una solución con 50 p.p.m. de yodo libre tiene una eficiencia germicida similar a la de una solución de hipoclorito con 200 p.p.m. de cloro.

El manual de sanidad del Servicio de Salud Pública de Estados Unidos puntualiza: Ya sea 12.5 p.p.m. de yodo ó 50 p.p.m. de cloro se requieren para el saneamiento de utensilios, cuando no se dispone de agua 78°C. Además, la dureza del agua afecta adversamente la efectividad germicida de los hipocloritos, debido a la reacción que produce el carbonato de calcio insoluble, que da lugar a las incrustaciones.

El uso de los yodóforos se ha extendido desde las granjas lecheras, donde se introdujo primero, hasta las operaciones de desinfección de modernas plantas para procesos alimenticios. Esta aceptación ha sido posible, gracias a las ventajas antes mencionadas.

Algunas áreas donde los yodóforos son utilizados:

- * Desinfección de equipo para procesos alimenticios por medio de neblina, rocío, inmersión y circulación.
- * Plantas embotelladoras y empacadoras.
- * Desinfección de equipos de transporte.
- * Desinfección general de áreas de trabajo.
- * Desinfección de áreas refrigeradas para el almacenamiento.
- * Amplia aplicación en la industria agropecuaria como son granjas avícolas, ganaderas, establos, etc.

Actualmente el problema con el que nos enfrentamos es que en la elaboración del yodóforo se carece del equipo adecuado para lograr una producción eficiente, no alcanzando los estándares de calidad requeridos por la industria.

Los problemas que se han llegado a presentar son:

- + Separación del producto en diferentes fases.
- + Concentraciones menores a la de la especificación de yodo disponible por degradación del producto durante su almacenamiento.
- + El aprovechamiento de las materias primas no es satisfactorio, teniendo pérdidas considerables por su alto costo. Esto significa que se tiene un bajo rendimiento de la reacción.

El presente estudio esta enfocado a tratar de resolver estos problemas, mediante la optimización de las variables que intervienen en el proceso de elaboración del yodóforo y la selección del equipo adecuado con el fin de mejorar las características del producto y hacer más eficiente la fabricación.

Este trabajo presenta en la primera parte los fundamentos teóricos de los yodóforos, propiedades del yodo y de otros componentes empleados en la elaboración, algunas teorías sobre la estructura fisico-química y aplicaciones.

La segunda parte corresponde al diseño experimental en el cual se definen las variables que se van a manejar encaminadas al mejoramiento del producto. Todas las variables serán tratadas en forma independiente, manteniendo constantes todas las demás, definiendo cada una al concluir cada experimento.

Por último se procede al diseño del equipo con los datos que se obtengan de la fase experimental.

CAPITULO I

BASES TEORICAS

El yodo fué descubierto en 1812 por el científico francés Courtois, reconocido como un nuevo elemento por Gay Lussac el mismo año, quien dió el nombre por el color de sus vapores del griego *íodes* que significa color violeta.

El uso del yodo como agente antimicrobiano data de principios de 1800 cuando Davies lo usó en el tratamiento de heridas, en 1816 el doctor William Prout lo usó como remedio para el bocio. Fué ampliamente usado en el tratamiento de heridas durante la guerra civil americana, y oficialmente reconocido por la U.S. Pharmacopeia en 1830 como tintura de yodo ó como linimento de yodo. La primera tintura oficial de yodo era una solución al 5 % en alcohol diluído.

Desde el último periodo del siglo XIX mucho se ha escrito acerca del yodo como antiséptico, esto se debe en gran parte a que satisface funciones que muchos otros bactericidas no cumplen. Ha sido usado en varias formas como antiséptico para la piel, heridas y superficies mucosas del cuerpo; para la esterilización de objetos inanimados y como profiláctico y agente terapéutico en enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos y protozoarios; para la desinfección de agua, saneamiento de utensilios de comida, etc.

PROPIEDADES DEL YODO

El yodo no se encuentra libre en la naturaleza, se encuentra principalmente en forma de yoduro ó como compuestos de yodo, estos últimos se encuentran en grandes cantidades en las cenizas de algas marinas, siendo esta la primera fuente comercial de yodo. Actualmente las principales fuentes son los depósitos salitrosos de Chile y las salmueras de pozos petroleros en Estados Unidos y Japón, países de los cuales se importa a nuestro país.

El yodo es un elemento no metálico que pertenece a la familia de los halógenos y se encuentra en el grupo VII A de la clasificación periódica de los elementos. Es el elemento más pesado de este grupo y el único sólido a temperaturas ordinarias. Sus principales números de valencia son: -1, +1, +3, +5, +7. Se conocen compuestos en todos estos estados de oxidación que son termodinámicamente estables con respecto a sus elementos constituyentes, ejemplos: KI, ICl, ICl₃, IF₅, NaIO₃. El yodo es un elemento simple y solo se conoce una especie atómica estable con masa de 127.

Propiedades físicas.

En forma masiva el yodo es un sólido negro ligeramente azulado, el material resublimado consiste en cristales opacos de doble refracción ortorrómbica con un lustre ligeramente metálico, un alto índice de refracción y un pronunciado pleocroísmo. Ambas formas desprenden los característicos vapores color violeta cuando son calentados.

Tabla de propiedades físicas.

Propiedades	sólido	líquido	gaseoso
P. fusión (°C.)	113.6		
P. ebullición (°C)		184.0	
T. crítica (°C)		512.0	
Presión crítica (Mpa)		11.75	
ρ 101.3 kPa (g/cm ³)			
d_4^{20}	4.940		
d_4^{60}	4.880		
d_4^{120}		3.980	
d_4^{180}		3.376	
ρ 101.3 kPa (g/L)			6.750
Coef. de expansión / °C	$2.8 \cdot 10^{-4}$		
Entropía 25°C (J/mol K)	116.7		62.25
Calor específico (J/g K)			
25 - 113.6°C	$0.21 + 19.6 \cdot 10^{-5} T$		
113.6 - 184.0°C		0.3163	
25 - 1200°C			0.1464
Calor de fusión (J/g)	62.13		
Calor de sublimación (J/g)	238.24		
Presión de vapor (kPa) 25°C	0.041		
113.6°C	12.07		
Índice de refracción n_D	3.340		

El yodo es ligeramente soluble en agua, dicha solubilidad se incrementa con la temperatura.

Solubilidad del yodo en agua.

Temp. °C	sol. (g/Kg H ₂ O)	Temp. °C	sol. (g/Kg H ₂ O)
0	0.162	80	1.08
20	0.293	70	1.51
25	0.340	80	2.17
30	0.399	90	3.12
40	0.549	100	4.48
50	0.769	110	6.65

El yodo es soluble en soluciones acuosas de yoduros solubles, debido a la formación de poliyoduros. Algunas de estas soluciones son altamente concentradas, llegando a contener hasta 67 % de yodo libre, es también soluble en soluciones de cloruros, bromuros y otras sales, pero dichas sales tienen mucho menor efecto que los yoduros.

El yodo se disuelve en muchos compuestos orgánicos, con los cuáles puede formar complejos moleculares:

Solubilidad del yodo en solventes orgánicos a 25°C.

Solvente	(g/Kg.)	Solvente	(g/Kg.)
Benceno	164.0	Cloruro de etileno	57.6
Bromoformo	65.9	Cloruro de etilideno	39.8
Disulfuro de carbono	197.0	Glicerol	9.7
Tetracloruro de carbono	19.2	n-heptano	17.3
Cloroformo	49.7	n-hexano	13.2
Ciclohexano	27.9	Alcohol isobutilico	97.0
cis-dicloroetileno	38.3	Isooctano	13.2
trans-dicloroetileno	37.6	Cloruro de metileno	253.1
2,2 dimetilbutano	13.9	Pentacloroetano	69.0
Acetato de etilo	157.0	Perfluoroheptano	0.12
Alcohol etilico	271.7	Tetracloroetano	62.0
Bromuro de etilo	146.0	Tetracloroetileno	61.0
Cianuro de etilo	141.0	Tolueno	162.5
Eter etilico	337.3	Tricloroetileno	79.0
Bromuro de etileno	115.1	p-xileno	198.3

El color de las soluciones varia con la naturaleza del solvente siendo violeta en hidrocarburos alifaticos y tetracloruro de carbono y café o café rojizo en alcoholes, éteres y benceno.

La formación de complejos moleculares fue demostrada por primera vez mediante estudios de espectro visible y ultravioleta de soluciones de yodo en benceno y otros solventes aromaticos. Más significativo fue el descubrimiento de una intensa banda de absorción ultravioleta cercana a 300 nm que no era atribuible al solvente ni al yodo, sino a un complejo 1:1.

La banda de absorción característica de varios complejos solvente-yodo, llamada banda de transferencia de carga, tiene un coeficiente de extinción molecular del orden de 10^4 y una amplitud media típica de 6000 cm^{-1} . La interacción del solvente con yodo implica cierta cantidad de transferencia de carga en el estado base del compuesto. De acuerdo con esto, las propiedades vibracionales del complejo reflejan nuevos movimientos vibracionales y cambios en las fuerzas de enlace de las dos unidades moleculares. Esto usualmente ocurre cerca de la región visible y es la causa de colores típicos intensos.

El yodo puede ser sublimado rápidamente debido a su alta presión de vapor debajo de su punto de fusión, el vapor de yodo se caracteriza por su familiar color violeta y por su densidad relativa alta, aprox. 9 veces la del aire y se compone de moléculas diatómicas a bajas temperaturas.

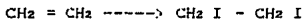
Propiedades químicas.

El yodo como otros halógenos, es muy activo químicamente. Como es el más pesado de los halógenos, tiene menor electronegatividad que los otros. Como resultado, los yoduros son menos estables que los otros haluros y el yodo puede ser reemplazado por los otros halógenos. Por el contrario, sus óxidos y otros compuestos en los cuales el yodo se encuentra en un estado de valencia positiva son mucho más estables.

que aquellos de otros halógenos, y el yodo puede reemplazar al cloro y al bromo de dichos compuestos.

El yodo como otros halógenos puede reaccionar con los hidrocarburos para formar el yodo-compuesto, pero el equilibrio es poco favorable, ya que el paso de desplazamiento con el átomo de yodo es endotérmico, aprox. 30.5 cal. para el metano y 8.0 cal. para el tolueno.

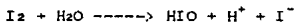
El yodo se adiciona a compuestos insaturados para formar derivados poli-yodo:



La saturación completa no siempre es obtenida y las reacciones son reversibles.

Reacciones en medio acuoso.

Las soluciones acuosas de yodo se hidrolizan en menor grado que los de otros halógenos. La constante de equilibrio para la reacción:

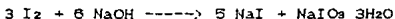
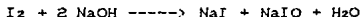


es solo de 5×10^{-15} a 25°C.

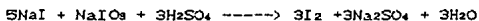
Por ser un elemento altamente reactivo, resulta ser un excelente germicida. Cuando una preparación de yodo actúa como desinfectante, el yodo libre (I_2) es la especie activa. Una característica especial del yodo es que la concentración necesaria para la desinfección no varía significativamente con diferentes especies de microorganismos. El yodo es esencialmente bactericida sobre un

amplio rango de pH contra un amplio espectro de patógenos. La eficiencia de las soluciones de yodo se incrementa marcadamente en medio ácido.

La reacción entre el yodo y el hidróxido de sodio forma yoduro de sodio, hipoyodito de sodio o yodato de sodio:



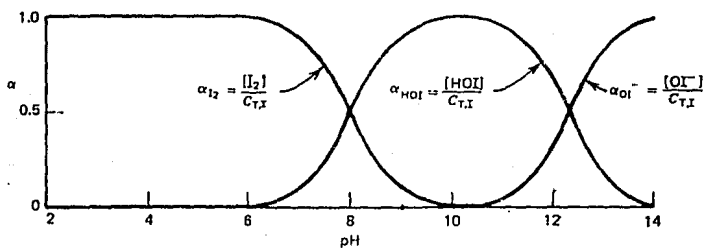
A medida que la alcalinidad decrece (incremento en acidez), mas yodo libre se libera. El punto de inicio en la liberación del yodo libre ocurre a pH alcalino. En solución ácida la reacción forma más yodo libre:



Pruebas de eficiencia bactericida han mostrado que soluciones de yodo libre presentan mayor actividad antibacteriana que el cloro y el bromo a 24° y 37° en ausencia o presencia de materia orgánica con un rango de operación efectiva desde pH 2.2 hasta 8.0 .

Una solución saturada de yodo con pH del lado ácido, además de contener yodo diatómico (I₂) pueden presentarse las siguientes formas de yodo: I₃⁻, I⁻ y HIO. Si la solución es ligeramente alcalinizada, se presentan entonces las siguiente formas de yodo: I₂, I₃⁻, I⁻, IO₃⁻. Diversos estudios han demostrado que el yodo diatómico (I₂) es el agente antimicrobiano más efectivo de todas las especies que pueden presentarse en solución acuosa.

Diagrama de distribución para las especies de yodo a 25°C.



(b) $[I^-] = 10^{-4} M$, $C_{T,I} = [I_2] + [HOI] + [OI^-]$

AGENTES TENSOACTIVOS

Los tensoactivos están clasificados en 4 grupos de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, en la forma siguiente:

- Agentes tensoactivos aniónicos.- Son aquellos que en solución se ionizan, pero teniendo en cuenta el comportamiento de sus miembros en solución, la molécula queda cargada negativamente.
- Agentes tensoactivos catiónicos.- Son aquellos que en solución forman iones, resultando cargada positivamente la molécula.
- Agentes tensoactivos no iónicos.- Son aquellos que sin ionizarse, se solubilizan mediante un efecto combinado de un cierto número de grupos solubilizantes débiles (hidrófilos), tales como enlaces de tipo éter o grupos hidroxilos en sus moléculas.
- Agentes tensoactivos anfóteros o anfólitos.- Estos materiales presentan en su molécula grupos aniónicos y catiónicos, su comportamiento iónico será de acuerdo al medio de disolución, según sea este alcalino o ácido.

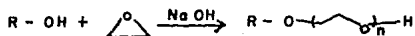
La mayoría de los surfactantes catiónicos y aniónicos tienden a reaccionar con el yodo, resultando productos insolubles en agua y han demostrado ser solventes de yodo poco satisfactorios. En cambio los

agentes tensoactivos no iónicos tienen la ventaja de que son estables frente a la mayoría de los productos químicos en las concentraciones usuales de empleo. Al no ionizarse en agua, no forma sales con los iones metálicos y son igualmente efectivos en aguas blandas y duras. Su naturaleza química los hace compatibles con otros agentes tensoactivos catiónicos y aniónicos. Particularmente se emplean los surfactantes no iónicos que se obtienen por condensación de óxido de etileno con óxido de polipropileno, con largas cadenas de alcoholes alifáticos y con alquilfenoles.

Por otra parte, las características tensoactivas especiales de cada uno los hace altamente valiosos como materia prima para la formulación de diversos productos para la industria en general.

En los agentes no iónicos el grupo hidrofóbico está formado por una cadena larga de hidrocarburos unido a una serie de grupos débilmente solubilizantes (hidrofilicos), haciendo soluble la molécula en agua. Los primeros agentes tensoactivos no iónicos fueron descubiertos en Alemania hacia 1930, se obtuvieron por reacciones de alcoholes grasos o alquilfenoles sustituidos con óxido de etileno en presencia de catalizadores básicos.

La longitud de la cadena se puede variar controlando la cantidad de óxido de etileno a alquilfenol sustituido como se indica en la siguiente reacción:



En la ecuación anterior 'n' no es necesariamente un número entero, puede ser tan bajo como 1.5 o tan alto como 30 o más. Esto hace posible la existencia de un buen número de productos con un amplio rango de propiedades y aplicaciones como humectante, detergente, emulsionante, dispersante, etc. Prácticamente cualquier compuesto hidrofóbico que contenga en su estructura grupos carboxílicos, hidroxilos, amidas o grupos aminos con hidrógeno lábil, tales como alquifenoles, alcoholes, ácidos grasos, mercaptanos, etc; pueden reaccionar con óxido de etileno para formar surfactantes no iónicos.

El HLB (balance hidrofílico lipofílico) de un agente tensoactivo está relacionado con su solubilidad, así, un tensoactivo que tiene un HLB bajo tiende a ser oleo-soluble y uno que tiene un alto HLB tiende a ser acuo-soluble, aunque dos agentes tensoactivos pueden tener el mismo HLB y sin embargo mostrar diferentes características de solubilidad.

La escala de HLB tiene un rango de 1 a 20 en donde los agentes tensoactivos del 1 al 9 tienden a ser oleo-solubles y los agentes tensoactivos con HLB de 11 a 20 tienden a ser acuo-solubles, aquellos que tienen HLB 10 se encuentran relativamente bien balanceados teniendo afinidad al aceite y al agua por igual.

Para calcular el HLB de un agente tensoactivo no iónico es necesario determinar el porcentaje en peso del contenido de óxido de etileno dividido entre 5. Lo anterior indica que el HLB es solamente una indicación del porcentaje del peso de la porción hidrófila de la molécula del agente tensoactivo no iónico.

El agente tensoactivo empleado en la producción de los yodóforos tiene la propiedad de hacer el yodo soluble en agua. Por lo tanto el agente tensoactivo empleado en la elaboración de el yodóforo tendrá que estar dentro del rango de HLB correspondiente a compuestos acuo-solubles.

YODOFOROS

La alta actividad germicida del yodo es bien conocida pero su baja solubilidad en agua (0.0162 partes de yodo en 100 partes de agua a 0°C, 0.108 partes de yodo en 100 partes de agua a 80°C) limita su uso en antisépticos acuosos. Esto ocasionó el desarrollo de diversas preparaciones que contenían yodo libre.

Tintura de yodo USP Se prepara mediante la disolución de 2 gramos de yodo y 2 gramos de yoduro de potasio en 100 ml de alcohol diluido, contiene 2 % de yodo libre.

Solución de yodo Se prepara mediante la disolución de 2 gramos de yodo y 2.4 gramos de yoduro de potasio en 100 ml. de agua purificada.

Dicha solución elimina la mayoría de las objeciones atribuidas a las soluciones alcohólicas, contiene 2 % de yodo libre.

Posteriormente se refiere el uso de una combinación de solución de yodo y una solución de propilenglicol, esto trajo como beneficio un descenso en el punto de congelación de la solución y una mayor adhesividad a la superficie tratada.

Existen otras preparaciones marcadas bajo diferentes nombres comerciales con diversas concentraciones de yodo. Entre dichas soluciones se encuentran tinturas y soluciones de yodo que contienen de 3 a 5 % de yodo libre, otras preparaciones contienen algunos ingredientes inertes que liberan yodo libre al entrar en contacto con el agua.

Aceite yodado Es un producto estéril que contiene un aceite vegetal con 40 % de yodo combinado. Se emplea como agente de diagnóstico en análisis.

Fenol yodado Conocido como yoduro de fenol (no debe confundirse con el para-yodo fenol) se prepara mediante la disolución de una parte de yodo licuado en cuatro partes de fenol usado como bactericida y fungicida.

Las soluciones de yodo en solventes comunes miscibles en agua, tales como, acetona, alcohol etílico, alcohol metílico, glicoles y gliceroles, no pueden ser usados efectivamente para el control de microorganismos en el agua, ya que al ser agregados al agua mucho del yodo se precipita rápidamente sin ejercer su acción germicida; por otra parte dichas preparaciones no son apropiadas para esterilizar superficies, instrumentos, utensilios, etc., ni como desinfectante en heridas, porque causan irritación y desconfort debido a la rápida evaporación del alcohol y la precipitación del yodo. También causan decoloración de la piel y otras superficies con las que entran en contacto.

En 1951 Chester y Shelanski descubrieron que ciertos agentes tensoactivos tenían la propiedad de formar complejos con el yodo elemental para proveer agregados moleculares o micelas que al diluirse en el agua liberaban yodo en forma germicidamente activa. Dichos compuestos fueron denominados yodóforos (Iodo - yodo, phor - transportador) y se han convertido en desinfectantes y agentes esterilizantes muy importantes comercialmente.

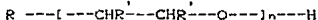
Estos productos sustituyeron ventajosamente a las soluciones alcohólicas, porque combinan las propiedades detergentes y limpiadoras de los tensoactivos con las propiedades desinfectantes del yodo y son prácticamente no tóxicos, no se observa ensuciamiento en las superficies tratadas, son virtualmente no irritantes a ojos, piel, nariz, boca y mucosa vaginal .

En las composiciones de la invención el yodo es transportado por el agente tensoactivo a lo que de ahora en adelante se le llamará yodóforo (complejo yodo-tensoactivo). Los detergentes sintéticos pueden comprender uno o mas agentes tensoactivos no iónicos que tengan fuerte detergencia y propiedades de mojado. La combinación del yodo elemental con dichos tensoactivos es particularmente importante, ya que se obtiene un producto estable que es efectivo en soluciones diluidas.

En la patente británica 703,091 de Herman Shelanski se describen composiciones germicidas que comprenden la combinación de yodo elemental con agente tensoactivo soluble en agua que contiene el grupo poliglicol éter. Entre los agentes tensoactivos no iónicos usados para la preparación de los yodóforos los más importantes son:

1. Agentes tensoactivos no iónicos del tipo poliglicol éter obtenidos por condensación de alquilenóxidos con compuestos orgánicos insolubles en agua que contienen al menos seis átomos de carbono y un hidrógeno activo.

Dichos compuestos pueden ser representados por la siguiente fórmula general:



R es un radical orgánico que contiene un hidrógeno activo.

R Hidrógeno o alquil bajo.

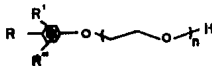
n Número entero de 6 a 50

2. Agentes tensoactivos tipo poliglicol éter derivados de compuestos alquil fenólicos; son particularmente valiosos en la formulación de composiciones detergentes. Se emplean aquellos que resultan ser solubles en agua (de acuerdo al HLB) en los cuales el grupo alquilo contiene de 8 a 12 átomos de carbono.

La cantidad de óxido de etileno condensado con compuesto hidrofóbico no es crítica en cuanto a capacidad de disolución, unicamente es necesaria la cantidad suficiente de óxido de etileno para que el producto resultante sea soluble en agua. Por otra parte del contenido de óxido de etileno dependerán las propiedades fisicoquímicas deseadas en la composición germicida.

En forma especial los condensados de Nonil-Fenol con óxidos de etileno se prefieren por su disponibilidad comercial. De cualquier forma otros condensados de óxidos de etileno, con alquil fenoles son equivalentes al Nonil-Fenol etoxilado.

Dichos compuestos pueden ser representados por la siguiente fórmula general:



R Alquil

R' y R'' Hidrógeno ó alquil.

El número total de átomos de carbono en R, R' y R'' deben ser por lo menos 6, preferentemente 9 y como máximo 24, n es un entero que representa el número de moles de óxido de etileno condensados.

Es posible usar una mezcla de alquilfenol óxido de etileno insoluble en agua y una mezcla de alquilfenol óxido de etileno soluble en agua, siempre y cuando los porcentajes de óxido de etileno en la mezcla final de los tensoactivos empleados permitan una solubilidad completa en medio acuoso.

3. Agentes tensoactivos obtenidos por condensación de óxido de polipropileno polimerizado o propilenglicoles reaccionando con óxido de etileno formando cadenas de óxido de polietileno, esta combinación de compuestos pueden ser excelentes agentes solubilizantes de yodo.

Dichos compuestos se definen por la siguiente fórmula:



y = 15 mínimo

[C₂H₄O]_x + z = 20 - 90 % del peso total del compuesto.

Estos tensoactivos están hechos de una amplia variedad de :

- 1) Peso molecular del grupo hidrofóbico.
- 2) Relación de peso del grupo hidrofílico

Los cuáles son controlados por el fabricante para predeterminar las características de mojado, detergencia, espumación e higroscopia entre otras propiedades físico-químicas.

Los yodóforos que contienen un tensoactivo soluble en agua en donde dicho tensoactivo contiene un grupo poliglicol-éter, no todo el yodo combinado con el acarreador (vehículo) es bacteriológicamente activo ó yodo disponible.

Del yodo total disuelto en el tensoactivo del tipo polioxi-etilen aquil fenoles y polioxi-etilen polioxi-propilenglicoles :

A) El 2% se pierde debido a la alta presión de vapor del yodo durante la elaboración.

B) Aproximadamente el 75 a 80% del yodo se presenta como yodo disponible.

C) El resto se combina química e irreversiblemente con el agente tensoactivo en una forma que es germicidamente inactivo. La pérdida del yodo activo por combinación química aumenta el costo del yodóforo.

El yodo disponible se define como el yodo que es titulable porque tiene la habilidad de oxidar el tiosulfato de sodio, se determina con la valoración de yodo con solución estándar de tiosulfato de sodio usando titulación potenciométrica ó almidón como indicador del punto final.

Técnica:

Se pesan aproximadamente 2 gramos de yodóforo concentrado con precisión y se disuelven en 50 mililitros de agua destilada se empieza la valoración con solución décimo normal de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) y una vez que se obtiene una coloración amarillo paja se

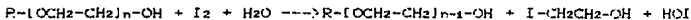
adiciona la solución de almidón al 1 % se continua la valoración hasta incoloro. El cálculo para determinar el % de yodo disponible es el siguiente:

$$\% \text{ de yodo disponible} = \frac{\text{ml } (Na_2S_2O_3) \times N (Na_2S_2O_3) \times 12.69}{\text{peso de la muestra}}$$

Estructura fisicoquímica de los yodóforos

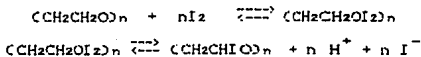
Existen muchas hipótesis sobre la estructura fisicoquímica de los yodóforos, así como del enlace del yodo al formar complejos con compuestos tensoactivos.

1) En la dilución del yodo en compuestos tensoactivos, principalmente en los no iónicos, una parte del yodo permanece fuertemente combinada con las moléculas de la sustancia tensoactiva, mientras que la otra parte, queda sujeta a la ionización. Allawala y Piegelman atribuyen esto a la reacción química entre el yodo y los tensoactivos no iónicos y proponen el siguiente mecanismo de reacción:



En esta reacción, la mitad del yodo se combina orgánicamente, mientras que de la otra parte se forma ácido hipoyodoso.

2) Paolo Rosetti estudió la reacción del yodo en glicol. De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de espectroscopía, de la determinación de la influencia del tiempo de reacción sobre los productos, así como del valor del pH de las soluciones, se sugieren los siguientes mecanismos de reacción en dos etapas:



3) Hugo y Newton sugieren, que el mecanismo del proceso descrito es muy semejante al publicado por Johanson y colaboradores, quienes sostenían que los halógenos al combinarse con éter, forman compuestos inestables adicionales. La formación de HI tiene lugar durante la hidrólisis de los tioésteres de halógenos.

4) Terry y Shelanski opinan, que la solubilización del yodo tiene lugar en las cadena poli-oxietilénicas. Por ello, puede surgir un compuesto de I₂ con óxido etilénico, ya que la máxima absorción de yodo en soluciones tensoactivas, depende de la sustancia tensoactiva empleada.

5) Olson y Pines investigaron algunas soluciones de yodo, que consistían de moléculas de glicol. Ellos sugieren que el yodo se une a los glicoles y estas sustancias se encuentran en forma de ácido-base del tipo Lewis. Presuponen que entre el yodo y las moléculas orgánicas de los compuestos formados, se forman complejos de electrones del tipo donador-aceptor.

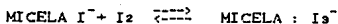
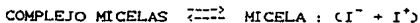
6) Durham es de la opinión de que en los enlaces de éter de los óxidos de polietileno existen o se pueden inducir algunas cargas positivas, esto significa que el yodo puede formar compuestos iónicos con los átomos de oxígeno.

7) Woodward realizó algunas investigaciones sobre la naturaleza y el mecanismo de dilución del yodo en compuestos tensoactivos. El modelo presentado por él, muestra claramente la naturaleza compleja del proceso y la gran diversidad de mecanismos que actúan allí. Conforme a los análisis químicos y electroscópicos realizados, Woodward pudo demostrar que la reactividad entre el I₂ y el compuesto tensoactivo, depende de la concentración de este último. Por debajo del nivel de concentración crítica micelar se observaron alteraciones irrelevantes en el sistema sujeto a la investigación. En soluciones de compuestos tensoactivos altamente concentradas, el yodo introducido, de inmediato se transforma casi completamente en I₃⁻; la siguiente reacción transcurre más lentamente.

En base a estas observaciones, Woodward refiere la siguiente reacción:



Este complejo no absorbe ante una longitud de onda de 280 nm - 300 nm. Su nivel pico de absorción se encuentra a 390 nm.



Los niveles pico de absorción del I₂ en 290 nm y 300 nm pueden provenir del complejo de la primera reacción o también puede tratarse del caso de moléculas de yodo no combinadas.



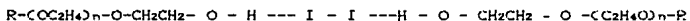
El mecanismo de formación de compuestos complejos y químicos presentado por Woodward, considera tanto a los procesos de naturaleza física, la manifestación de la solubilización del yodo a través de compuestos tensoactivos, así como los procesos físico-químicos.

De las investigaciones realizadas para determinar la máxima cantidad de yodo que se enlaza con un compuesto tensoactivo, resultó un máximo de 1 g. molecular de yodo que se une a 2 moléculas de la sustancia tensoactiva. Si se agrega yodo al compuesto tensoactivo en una proporción mayor a 1:2, entonces este se separa en forma de sedimento de los yodóforos y el yodóforo no conserva mas su claridad.

Los resultados obtenidos de la investigación permiten sostener la opinión de que los yodóforos no son soluciones de yodo en compuestos tensoactivos, como algunos autores sostienen, sino combinaciones complejas de yodo con compuestos tensoactivos, en los cuáles, el yodo aparece como enlace coordinado con el hidrógeno del grupo OH al final de la cadena de las moléculas de los compuestos tensoactivos. De esta manera el yodo forma una especie de puente entre dos moléculas de un compuesto tensoactivo no iónico, al orientar hacia sí los grupos OH.

Los resultados de los análisis químicos realizados para determinar la máxima relación molar, en la cuál el yodo se une con compuestos tensoactivos no iónicos de estructura distinta y peso molecular contrastante, así como los resultados del espectro infrarrojo y el espectro de resonancia magnética, mostraron que:

a) Los complejos formados por yodo y compuestos tensoactivos no-iónicos, presentan la estructura siguiente:



b) El yodo está ligado al hidrógeno del grupo OH de los compuestos tensoactivos no-iónicos, gracias a los enlaces coordinados.

c) En los yodóforos estables, la relación molar del yodo activo respecto al compuesto tensoactivo no-iónico, no debe ser mayor a 1:2.

B) Se sabe que cuando el yodo es disuelto en ciertos solventes, tales como hidrocarburos aromáticos o sustancias que contienen heteroátomos con electrones no compartidos, el espectro electrónico del yodo es diferente comparado con el de los vapores del yodo o soluciones de yodo en solventes inertes, como, tetracloruro de carbono, n-parafinas, etc. Además del desplazamiento de la banda de absorción en el espectro visible (el cuál produce cambio en la coloración) aparece en el espectro ultravioleta una nueva banda de gran intensidad, que no existe en el espectro del yodo, ni en el espectro del solvente puro. Por medio de espectros electrónicos, Mulliken mostro evidentemente en el caso del yodo y otros productos una manera especial de interacción entre el yodo y las moléculas del

solvente, con la formación de los llamados complejos de transferencia de carga. Estos complejos son un ejemplo de interacción base-ácido de Lewis, porque las moléculas de solvente proporcionan a las moléculas de yodo los electrones que resultan de un orbital π (en el caso de hidrocarburos aromáticos) o de un orbital no enlazado (electrones no compartidos de alcoholes, éteres o aminas).

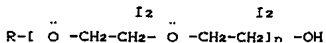
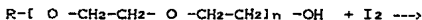
La estructura del complejo podría ejemplificarse con la fórmula:



En donde el electrón no es transferido enteramente del solvente a la molécula aceptora.

Tomando en cuenta que los yodóforos tienen en ausencia de agua y en las soluciones acuosas diluidas con diferentes concentraciones un color café, en lo que respecta al 'yodo activo', entre las moléculas de yodo y el agente tensoactivo no iónico (que tiene muchos átomos de oxígeno con electrones no compartidos) se forman complejos de transferencia de carga.

Se sugiere la siguiente estructura:



La adición de yodo a un agente tensoactivo no iónico polioxi-etilenado modifica su solubilidad en agua y en consecuencia sus propiedades de superficie.

Una propiedad específica del surfactante no iónico polioxi-etilenado que se debe a su manera de disolverse en el agua es conocido como punto de enturbiamiento y que es la aparición repentina de turbidez del surfactante no iónico diluido ante el aumento de la temperatura, como resultado de un decremento en la solubilidad. El punto de enturbiamiento para una misma parte hidrofóbica se incrementa proporcionalmente con el número de moles de etileno-óxido y decrece con el incremento en el valor de pH.

Si en los yodóforos el yodo activo forma complejos de transferencia de carga con el surfactante no iónico, a todo lo largo de la cadena de polietileno-óxido se forman enlaces yodo-oxígeno, que poseen una polarización que contribuye a el incremento de la solubilidad en agua en comparación con el surfactante no iónico puro, debido a los enlaces tipo ión dipol. Este tipo de enlaces producen un incremento en el punto de enturbiamiento, el incremento de la concentración micelar crítica y en un tiempo medio el cambio en el HLB.

Coefficiente de distribución

Como se ha descrito anteriormente una composición que lleva yodo tiene una cantidad predeterminada de yodo disponible, que puede permanecer constante sobre grandes períodos de almacenamiento. El yodo se pierde o no llega a ser aprovechado debido a la reacción química con el transportador.

Una composición que lleva yodo preparado por la adición de yodo a un agente tensactivo experimenta cambios y una reducción en el contenido de yodo disponible durante su almacenamiento. Este cambio de composición es acelerado por calentamiento, pero un calentamiento excesivo de la formulación inicial; puede llegar a consumir cierta porción de yodo por sublimación, además puede efectuar una caída o cambio químico en el transportador, modificando su actividad superficial y sus propiedades detergentes, así como su capacidad de acomplejar yodo.

La estandarización de los productos presenta un constante problema, debido a las razones mencionadas anteriormente.

Es necesario en este punto discutir lo que significa el coeficiente de distribución, ya que es una técnica mediante la cual por primera vez provee un procedimiento de laboratorio rápido y preciso para la determinación del grado de complejación del yodo en composiciones yodo- transportador.

El método de determinación de coeficiente de distribución emplea un sistema cerrado y depende del equilibrio del yodo entre una solución acuosa del agente complejante o transportador y un solvente de yodo no miscible con agua.

La cantidad inicial de yodo en solución acuosa se determina por titulación con tiosulfato de sodio. La concentración final del yodo en el solvente se determina por colorimetría. La cantidad de yodo remanente en fase acuosa se encuentra por diferencia.

La distribución de un soluto común tal como yodo entre dos solventes inmiscibles (en este caso se emplea heptano y agua) es una característica reproducible para el soluto y solventes involucrados a una temperatura específica.

El coeficiente de distribución (C.D.) se determina mediante la adición de un ml. de solución de prueba estandarizada que contenga entre 0.05 y 5 % de yodo a un cilindro graduado de 50 ml. que contenga 25 ml. de n-heptano purificado. La temperatura del heptano se lleva a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. El cilindro es sellado y agitado vigorosamente por un minuto, tiempo durante el cual la solución acuosa se suspende en el

n-heptano como una nube uniforme. La solución se deja reposar uno o dos minutos y se repite el ajuste de temperatura y la agitación. Para mejores resultados, la solución se deja sedimentar una hora; si se centrifuga solo se requieren uno o dos minutos.

La cantidad de yodo en la fase heptano puede ser determinada colorimétricamente a 520 nm (máxima absorción); la relación entre la absorción de la luz y la concentración del yodo es lineal en el intervalo de 1 a 25 mg/100ml. El coeficiente de distribución se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C.D. = \frac{\text{mg. de I remanente en fase acuosa}}{\text{mg. de I en heptano}} \times \frac{\text{ml. de heptano}}{\text{ml. fase acuosa}}$$

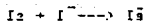
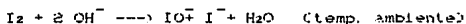
El coeficiente de distribución en el presente estudio servirá como parámetro para determinar en que momento el producto tiende a ser más estable. Se considera que un coeficiente de distribución de 150 o mayor provee un producto estable ante la degradación.

ACIDO FOSFORICO

El complejo formado por el tensoactivo no-iónico-yodo es más efectivo por la presencia del ácido fosfórico. Dicha composición incluye ácido fosfórico que se prefiere sobre otros ácidos por su estabilidad y aceptación en los procesos alimenticios, ya que es un compuesto no tóxico y de menor corrosividad.

El ácido fosforico tiene numerosas funciones, tales como, contrarrestar las sales alcalinas, dureza del agua, y evitar depósitos de materia orgánica e inorgánica sobre las superficies tratadas. Además tiene el efecto de actuar como agente sinergista sobre el yodo por extender la actividad de este a más altos valores, esta actividad se incrementa debido a que el ácido estabiliza el yodo en forma elemental o libre (forma activa del yodo), la cuál se encuentra en un rango de pH ácido de 2 a 4. Esta estabilidad se logra por la acción buffer que ejerce el ácido fosfórico sobre las impurezas del agua y depósitos que interfieren con la acción del yodo.

El yodo se degrada bajo condiciones alcalinas a yodatos, yoduros y a complejos monovalentes I_3^- , factor que determina la modificación del contenido de yodo libre:



USO DE LOS YODOFOROS

Debido a sus propiedades, los yodóforos son empleados en muchos campos. Además de su uso como producto desinfectante y antiséptico en medicina, son usados en la industria alimentaria, cosméticos, veterinaria y desinfección de encierro de animales. Dependiendo de la necesidad sus usos pueden ser ampliados.

Las composiciones deben estar adaptadas para rápida disolución en agua, por ejemplo, los equipos empleados en el manejo de alimentos requieren de limpieza y saneamiento en una sola operación, por lo que la distribución del producto en la solución de uso debe ser uniforme, de manera que se obtenga el máximo aprovechamiento del producto. La dilución de uso debe tener propiedades de alta eficiencia en limpieza así como saneador de manera que reduzca la cantidad de microorganismos en la superficie tratada. En la mayoría de las aplicaciones los yodóforos se usan a diluciones con un contenido de 5 a 25 ppm de yodo libre, dependiendo de su uso. Tomando en cuenta la especificación requerida por la industria, nuestro producto tiene una concentración de 1.75 % de yodo disponible, por lo tanto será necesario considerar que 30 gramos del producto en 20 litros de agua proporcionan una solución con 25 ppm de yodo.

La aceptación de los yodóforos a sido posible gracias a ciertas propiedades como la obtención de superficies libres de películas o manchas, acción bactericida rápida y completa, de evitar corrosión y del control de concentración por medio del color. Algunas de las áreas donde el yodóforo se emplea son:

- Desinfección de equipos para procesos alimenticios por medio de rocío, neblina, inmersión y circulación. Este uso se extendió debido a las propiedades útiles del yodóforo. Las concentraciones recomendadas del producto para esta aplicación varía de 12.5 a 25 ppm de yodo disponible. Las concentraciones generalmente recomendadas para el uso lechero son de 12.5 a 17.5 ppm, mientras que para la desinfección de embotelladoras la concentración es de 25 ppm para eliminar las levaduras y el moho.

- Enjuague de botellas para leche y bebidas. La rápida aceptación en esta área se debe a propiedades, tales como la prevención de películas de agua en las botellas y en la sección de boquillas de enjuague y rociado de las máquinas lavadoras de botellas, ya que no deja residuos de agua en botellas y secadores, y reduce la corrosión en las máquinas lavadoras de botellas.

- Desinfección del equipo de transporte. La corrosión es un factor frecuente en esta operación debido al tiempo transcurrido entre la desinfección y el uso. Por esta razón, el equipo no era desinfectado adecuadamente hasta la introducción de los yodóforos, poco corrosivos.

- Desinfección general de áreas de trabajo. En queserías, embotelladoras, empacadoras de carne, hospitales, restaurantes, etc., la desinfección de las áreas de trabajo con un germicida efectivo constituye un aspecto importante dentro el programa general de limpieza, ya que estas áreas deben estar perfectamente saneadas para evitar la contaminación de los alimentos, equipos, e instrumentos.

- Desinfección de llenadoras (leche y bebidas) de latas y envases a nivel de plantas procesadoras. Gracias a las propiedades ácidas y no corrosivas del yodóforo, su uso es apropiado para estas operaciones, ya que muchos de los recipientes son lavados mecánicamente y no son de acero inoxidable.

- Las soluciones de yodóforo se emplean en la limpieza de pequeños utensilios, como instrumentos para la siembra de cultivos lácteos. Estas operaciones requieren una limpieza y desinfección cuidadosas para prevenir el deterioro de los cultivos por contaminantes externos.

- Prevención del crecimiento de levaduras y hongos en áreas refrigeradas de almacenaje. Las áreas de almacenaje de pollos y papas son dos ejemplos donde se reduce el olor y se aumenta la vida promedio, mediante el uso del yodóforo en el programa de desinfección.

- Es bien sabido que una escrupulosa limpieza física es requisito indispensable para una segura desinfección del equipo de una planta procesadora de alimentos. También, es muy importante el tratamiento dado a todas las superficies que entran en contacto con los alimentos consistente en un enjuague desinfectante apropiado, justo antes de que el equipo sea usado. El yodóforo correctamente formulado se usa satisfactoriamente para estas operaciones de limpieza y desinfección, es efectivo en los enjuagues desinfectantes sin importar el tipo de limpiador usado en la etapa de lavado; sin embargo pueden obtenerse algunas ventajas en muchas operaciones usando el yodóforo en ambas etapas. Algunas de estas ventajas son:

- * No hay efecto adverso en el lavado por la dureza del agua.
- * Previene la formación de piedra de leche y el depósito de incrustaciones del agua dura.
- * Mejora acción humectante.
- * Fácil enjuague y mejora escurrimiento.

* Deja menor número de organismos vivos por eliminar en el proceso final de desinfección.

Los yodóforos pueden formularse para incrementar las propiedades detergentes o las propiedades de enjuague y desinfección. Para usos detergentes, las concentraciones son mayores (generalmente el doble o más) que las usadas para el enjuague final. Algunas de estas soluciones están calculadas para dar concentraciones de 25 ppm de yodo disponible para lavado y concentraciones de 12.5 ppm para enjuague.

Para ciertas operaciones de limpieza, como lavado exterior de equipos, mesas de trabajo, pisos y demás, en algunas operaciones de procesos alimenticios, los yodóforos hacen posible un lavado y una desinfección efectivos en una sola operación. Esta posibilidad tiene importancia económica, desde los puntos de vista de ahorro en mano de obra y de la mínima pérdida de tiempo de operación, por el paro efectuado para la limpieza (de suma importancia, por ejemplo, en las operaciones de alta velocidad en el procesado de aves).

Los yodóforos son útiles en forma de neblina para los interiores de equipos voluminosos (silos, carros-tanque, etc.) y aún en ciertos tipos de cuartos.

También se utiliza para la desinfección, por rociado de paredes y pisos interiores y exteriores de los equipos. Su uso es satisfactorio para desinfección, y algunas veces para la limpieza, en operaciones de lavado por recirculación. Para usos, donde las soluciones de los

yodóforos estén sujetas a bombeo de presión, agitación, circulación o neblina es importante formularlas con ingredientes que produzcan el mínimo de espuma en estas condiciones y mantener las otras propiedades deseadas, u operar el equipo de tal manera que minimice la espuma.

En una publicación de la revista American Brewer (Nov.1973) titulada: El papel de los yodóforos en la industria cervecera, despertó un basto interés en los yodóforos, como substitutos de los productos a base de hipocloritos. Este artículo hace resaltar las ventajas de los yodóforos sobre otros germicidas, de la siguiente manera:

Corrosividad de los yodóforos vs hipocloritos

Solución a prueba	Yodóforo	Hipoclorito
Concentración	100 ppm I ₂ libre	100 ppm Cl ₂ libre
pH	4.5	8.5
Tiempo de exposición	4 días	4 días

R E S U L T A D O S

Cobre	Ligeramente empañado	Altamente empañado
Acero inoxidable	Ningún efecto	Ligeramente empañado
Latón	Ligeramente empañado	Altamente empañado; mucho óxido.
Acero rolado en frío	Ligeramente atacado	Altamente atacado; óxido sobre el nivel de la solución.

Las propiedades corrosivas de las soluciones de yodóforo son substancialmente menores que las de las soluciones de cloro y no se debe unicamente a que la actividad química del yodo es menor, sino también a que se requiere una cantidad de yodo menor, para obtener una acción bactericida equivalente. El transportador de yodo (agente tensoactivo) también tiende a reducir la corrosividad aún más por la formación del complejo de yodo.

Ventajas del yodóforo sobre otros germicidas industria cervecera

Acido débil.

Previene la formación de piedra en el equipo.

Previene las incrustaciones en las boquillas de enjuague de las lavadoras de botellas.

Máxima acción germicida con pH ácido.

Transportador

Provee libre enjuague.

Reduce la corrosividad y toxicidad.

Completamente soluble en agua.

Disipación reducida de yodo por materia orgánica.

Yodo activo

El color es un indicador de la concentración. La fuerza se determina exactamente por titulaciones normales.

Amplio espectro germicida.

Facilidad de manejo y uso

Sin problemas de sabor y de olor cuando se usa apropiadamente.

Puede dosificarse exactamente dentro de la línea de enjuague o en el sistema de manejo del producto para desinfección local.

El germicida yodado tiene aplicación en la industria avícola se recomienda para los siguientes usos, especialmente contra el M. Tuberculosis y el virus de la enfermedad de Newcastle:

CONC. DE YODO LIBRE

APLICACIONES EN GRANJAS AVICOLAS

12.5 ppm	En agua de beber para las aves (reemplazela cuando desaparezca el color).
50.0 ppm	Desinfección de huevos empollados (por inmersión, charolas, e incubadoras).
75.0 ppm	Para limpieza y desinfección general, incluyendo bebederos y huacales (seguida por inmersión en una solución de 25 ppm y secado por aire). También para deodorizar y desinfectar criaderos, incubadoras, y casas de postura; después de remover la suciedad suelta o impregnada.

El artículo de los señores Wetzler: La limpieza y desinfección de plantas procesadoras de aves, editado en la revista American Journal of public Health, en Marzo, 1962 concluye en parte:

Una operación de limpieza-desinfección aceptable, eficiente, y económica se logra empleando una pistola de vapor para desengrasado inicial, seguido de un cepillado con un yodóforo. Este sistema reúne todas las condiciones de una limpieza aceptable y de una buena desinfección.

En este estudio se utilizó, específicamente una fórmula con 100 ppm de yodo libre y esta registrada y aprobada para uso en esta

industria por el departamento de agricultura de los E. U. A. AMS
división avícola.

Aproximadamente el 70% del costo de mantenimiento en granjas
avícolas es debido a la mano de obra. Por lo que, un yodóforo
detergente, desinfectante de alta eficiencia, como lo es el yodóforo
es menos costoso a largo plazo, debido a que reduce las operaciones de
varios pasos y provee superficies limpias y desinfectadas.

Las especificaciones que requieren los clientes que usan el yodóforo
son las siguientes :

Cantidad de yodo libre (I ₂)	1.75 % mínimo
pH en solución al 1 %	2 a 4
Densidad	1.05 g/cm ³
Soluble en agua	

ANALISIS DEL PROCESO DE ELABORACION

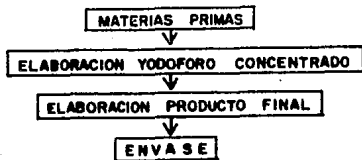
La elaboración del yodóforo tiene 2 etapas importantes.

- 1) Elaboración del yodóforo concentrado.
- 2) Elaboración del producto final a partir del concentrado.

Con el objeto de obtener las condiciones óptimas del proceso de fabricación, se han definido las variables que intervienen.

En la parte experimental del estudio se han de definir dichos parámetros, para los cuáles el proceso resulta ser el más eficiente desde el punto de vista de costo y operación. Por otra parte servirán de base para el diseño y selección del equipo que será empleado en la fabricación del producto.

Para ejemplificar el método de fabricación, el siguiente diagrama presenta de manera general el proceso de elaboración del producto.



1. Durante el mezclado se obtiene el complejo transportador-yodo (yodóforo concentrado), el cual será empleado posteriormente para la elaboración del producto comercial.

En esta primera parte del proceso intervienen variables que tienen influencia directa sobre el costo del producto, rendimiento de materias primas y calidad del producto terminado.

Las variables involucradas son:

-Temperatura.

De esta variable depende la velocidad de complejación y de reacción de los compuestos. Tiene una influencia directa sobre la disminución en el contenido de yodo debido a la reacción química.

Es importante que la temperatura seleccionada para el proceso sea lo suficientemente alta para reducir al máximo el tiempo de agitación, sin que repercuta considerablemente en las pérdidas por sublimación del yodo.

El rango de temperatura se puede definir en base al punto de sublimación del yodo, tomando en cuenta que, una vez que el yodo entra en contacto con el agente tensoactivo, este tiende a estabilizarlo al momento de acomplejarse.

Dado que la reacción química entre halógenos e hidrocarburos saturados se lleva a cabo en presencia de luz ultravioleta o calor (con un equilibrio poco favorable hacia la formación del compuesto halogenado), un aumento en la temperatura acelera esta reacción alcanzando rápidamente el equilibrio, estabilizando el complejo contra la degradación.

El punto de sublimación del yodo es de 35^o C. por lo tanto puede manejarse un rango de 35 a 70 °C. Este valor también está soportado por la literatura (U.S. Patent 2,931,777 y 2,989,434).

-Tipo de tensoactivo

El tensoactivo empleado en la elaboración de los yodóforos debe ser principalmente un buen solubilizante o transportador de yodo.

Los agentes tensoactivos no iónicos cubren esta propiedad, siendo además compuestos muy estables ante la mayoría de las especies químicas. Esto hace posible la elaboración de yodóforos con características de buena detergencia y estabilidad del complejo de yodo sin que sean afectados por la calidad del agua empleada con el yodóforo. Sin embargo existe una amplia variedad de agentes tensoactivos no iónicos en el mercado. Para poder determinar el tipo de tensoactivo que debe emplearse, también deben de tomarse en cuenta otros factores como son:

- Disponibilidad comercial.
- Economía

Esto trae como consecuencia una reducción dentro de la gama de tensoactivos que pueden emplearse para la elaboración de los yodóforos.

Un aspecto importante que debe considerarse al momento de seleccionar el tensoactivo es que una vez formado el complejo, no se precipite en soluciones acuosas, es decir, que forme dos fases, esto sucede con cierto tipo de tensoactivos.

Algunas mezclas de tensoactivos eliminan este problema, por lo que es necesario tomar en cuenta el uso de ciertas combinaciones que estabilicen el producto.

-Tiempo de agitación

Este parámetro está muy relacionado con la temperatura y el tipo de agitación, tiene efecto principalmente sobre el alcance de complejación, en la estabilidad del producto y como consecuencia en el rendimiento.

Se toma como base para la variación del tiempo, aquel que es necesario para que el yodo se disuelva completamente en el tensoactivo.

-Relación molar yodo-agente tensoactivo

Esta es una de las variables más importantes, ya que tiene efecto directo sobre el costo del producto.

De acuerdo con las cantidades de materia prima que se emplean en la elaboración del yodóforo, se tiene un costo y un rendimiento del yodóforo concentrado.

En base al rendimiento se determina la cantidad que debe emplearse en el producto final y es en este momento donde debe calcularse el costo.

De acuerdo con la relación molar empleada se van obteniendo varios costos del producto concentrado. Debido al elevado costo del yodo es importante obtener el punto donde se obtenga el mejor rendimiento del yodo sin que esto afecte al producto final, ya que aun

cuando el producto concentrado pudiese tener un bajo costo, la cantidad requerida puede dar un producto de precio muy elevado.

2.- La mezcla de las tres materias primas con las variables del proceso establecidas da como resultado el producto concentrado.

El compuesto concentrado tiende a sufrir degradación o descenso en el contenido de yodo libre que provoca principalmente dos problemas:

- Bajo rendimiento que repercute en el costo del producto final.
- Dificultad en la estandarización del producto final.

Esta degradación esta relacionada directamente con la temperatura y tiempo de elaboración ya que tiene un límite que puede considerarse cuando el sistema alcanza el equilibrio y esto solo se logra con el tiempo. La temperatura acelera el proceso de degradación.

Existen otros métodos para prevenir o reducir la degradación del yodóforo concentrado, que consisten en la adición de compuestos tales como el yoduro de sodio y de potasio o productos que contengan cloro libre, que evitan la reacción química entre el yodo y el agente tensoactivo. Pero el uso de estos compuestos presentan otro tipo de problemas al ser aplicados.

El producto concentrado sirve como base para la elaboración del producto final y una vez que se obtiene se somete al proceso final en el cual se diluye en agua y se adiciona el ácido fosfórico; tiene también la opción de almacenarse para ser procesado posteriormente.

Al igual que el yodóforo concentrado el producto final tiende a sufrir degradación. esto indica que la calidad del producto concentrado determina las propiedades del producto final.

El producto final puede ser elaborado de acuerdo a los requerimientos de la industria. Por ser un producto de uso diversificado debe cumplir con las características y especificaciones acordes a una situación en particular.

Las características mas importantes que determina el uso que se dará al yodóforo son:

- Concentración de yodo libre.
- Grado de detergencia.
- Grado de acidez.

En ocasiones es necesaria la adición de compuestos que le confieren propiedades especiales al yodóforo pero solo se presentan en aplicaciones donde se requiere una función específica del compuesto. (por ejemplo sellador de ubre).

Entre los métodos empleados para el análisis de la calidad del producto se pueden mencionar los siguientes:

- Determinación del contenido de yodo libre por el método volumétrico.
- Grado de acidez.
- Grado de complejación por medio del coeficiente de distribución.
- Estabilidad física del producto por aplicación de calor y centrifugación.

CAPÍTULO 00
DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental está basado en las variables que fueron tratadas en el capítulo anterior, que son las siguientes:

- 1) Temperatura.
- 2) Relación Yodo-Agente Tensoactivo.
- 3) Proporción de tensoactivos.
- 4) pH del producto final.
- 5) Tiempo de agitación.

Cada una de las variables se tratará en forma independiente, determinando en cada caso el valor óptimo de acuerdo con las pruebas y los análisis establecidos para cada variable. Los parámetros a medir son los siguientes:

- Tiempo de elaboración
- Rendimiento.
- Estabilidad.
- Costo.
- Solubilidad en agua.
- Homogeneidad (separación de fases)
- pH del producto final.

Se eligieron para las pruebas cinco tipos de tensoactivos basándonos en lo escrito anteriormente, destacando los tensoactivos de tipo no iónicos:

FORMULA 1 Tensoactivo no iónico Nonil fenol etoxilado de 10 moles. Este fue elegido ya que es un tensoactivo de importancia comercial, por lo que resulta ser un producto muy económico y de gran disponibilidad. El producto que actualmente se esta comercializando esta formulado con dicho tensoactivo. Esto nos conduce a tener que someter esta formulación a todas las pruebas para tener un punto de comparación.

Formula 2 Mezcla de Tensoactivos no iónicos Nonil fenol etoxilado de 4 moles y Nonil fenol etoxilado de 15 moles. Estos tensoactivos fueron elegidos ya que se comercializan en forma similar al Nonil fenol de 10 moles y también nos permiten ver la influencia que tiene el HLB (Balance hidrofílico lipofílico) sobre las propiedades del producto, al variar la proporción de los tensoactivos.

FORMULA 3 Mezcla de Tensoactivos no iónicos Oxido de polipropileno condensado con óxido de etileno. Este tipo de tensoactivos, aún cuando no tienen la misma disponibilidad y economía que los tensoactivos del tipo nonil fenol etoxilado, se eligen para determinar el comportamiento que tienen en la elaboración de los yodóforos. Si después de realizar la pruebas comparativas, resultase un producto aceptable desde el punto de vista costo/calidad, puede llegar a emplearse para la elaboración de nuestro producto.

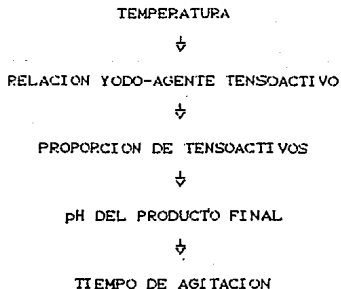
FORMULA 4 Tensoactivo aniónico Acido dodecil bencen sulfónico.

FORMULA 5 Tensoactivo catiónico Compuestos cuaternarios de amonio.

Estos dos tipos de tensoactivos se han elegido para determinar cuales son las razones por las cuales no tienen la misma aceptación que los no iónicos, ya que son muy económicos y el cuaternario de amonio tendría la ventaja de ser desinfectante a su vez.

Sometiendo a las pruebas estos tipos de tensoactivos, se puede llegar a determinar cuál de ellos es el más conveniente para la formulación del yodóforo, por lo que, se hace necesario desarrollar un experimento en el cuál todos los tensoactivos se puedan comparar.

DIAGRAMA DE FLUJO EXPERIMENTAL



1) TEMPERATURA: Con esta variable se determinará el tiempo en el cual el yodóforo alcanza su máxima concentración de yodo libre (disolución completa del yodo metálico en el tensoactivo); y también se podrá determinar si la temperatura tiene un efecto considerable sobre la pérdida de yodo por sublimación, y la influencia que tiene sobre el rendimiento final, antes de la degradación. Una vez terminada la fase experimental referente a temperatura en las diferentes fórmulas quedará determinada para los siguientes experimentos.

2) RELACION YODO-AGENTE TENSOACTIVO: La finalidad de este experimento es que mediante la variación de la concentración de yodo metálico se obtenga el menor costo en la formulación del producto final. En este experimento podremos evaluar que tanta capacidad de disolución y complejación de yodo metálico tiene cada tensoactivo, esto afectará directamente en el rendimiento, degradación y por lo tanto en el costo del producto.

3) PROPORCION DE TENSOACTIVOS: Con este experimento se pretende determinar con cual de los tensoactivos o mezcla de estos se obtiene la mayor homogeneidad y solubilidad en agua del producto final. Al término de este experimento se define el tipo de tensoactivo que conviene usar por costo y calidad en la elaboración del producto

4) pH DEL PRODUCTO FINAL: La finalidad de este experimento es la de obtener la proporción mas adecuada de ácido fosfórico, observando si tiene efecto sobre el rendimiento, incorporación del yodo metálico en el agente tensoactivo, así como estabilidad física y pH del producto final (mayor presencia de yodo libre a pH 2-4).

5) Tiempo de agitación: En este experimento determinaremos el tiempo óptimo de agitación para obtener el mayor rendimiento y la menor degradación de yodo libre, de acuerdo con el coeficiente de distribución (grado de complejación).

Una vez terminada la fase experimental obtendremos la fórmula y los parámetros con los cuales se obtiene el producto con la mejor calidad y el menor costo posibles. En base a la información obtenida se procede al diseño del equipo.

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE ELABORACION, RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD EN EL YODOFORO CONCENTRADO.

OBJETIVO: Obtener la temperatura a la cuál se obtiene con mayor rapidez un yodóforo más estable y el comportamiento posterior en cada tipo de formulación.

FORMULACIONES:

Materias Primas

% en peso

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5
Yodo metálico	20	20	20	20	20
N.F. * (10 moles)	79	0	0	35.55	0
N.F. (4 moles)	0	14.92	0	0	0
N.F. (15 moles)	0	64.08	0	0	0
OP-OE **	0	0	79	0	0
A. Dodecibencensulfónico	0	0	0	43.45	0
Cloruro de benzalconio	0	0	0	0	79
Acido Fosfórico	1	1	1	1	1

* N.F. - Nonil fenol condensado con óxido de etileno.

** OP-OE - Óxido de polipropileno condensado con óxido de etileno.

Cada una de estas fórmulas (1 - 5) se somete a diferentes temperaturas. El rango de temperaturas que se manejará será de temperatura ambiente a no más de 70°C, porque a mayor temperatura

pueden existir cambios en las propiedades de los tensoactivos y la pérdida de yodo por sublimación sería considerable ya que el punto de sublimación del yodo es de 35°C.

Las temperaturas para las pruebas son:

- Serie A 15-20 °C
- Serie B 30-35 °C
- Serie C 40-45 °C
- Serie D 60-65 °C

METODOLOGIA DE ELABORACION:

1) Se agrega la proporción de ácido fosfórico al tensoactivo o a la mezcla de tensoactivos bajo agitación mecánica (Agitador Lightnin de velocidad variable) a 800 rpm, y a la temperatura de cada una de las pruebas (es decir cada fórmula será sometida a cuatro diferentes temperaturas).

2) Una vez controlada la temperatura se agrega completo el yodo metálico necesario con agitación continua.

3) Se tomarán muestras de 2 g para su valoración de yodo libre cada 20 minutos durante las 3 primeras horas y posteriormente cada hora hasta alcanzar la disolución total del yodo.

Cuando se haya disuelto el yodo metálico se continuará agitando en un periodo de la mitad de tiempo que tardó en disolverse (es decir, 50% más), continuando con la valoración. Esto se hace porque el yodo sigue a complejándose con el tensoactivo y se toma como base el tiempo de disolución a cada temperatura, en el cual se obtiene la máxima concentración de yodo, para saber por cuanto tiempo se seguirá

agitando la mezcla y así tener igualdad de condiciones para todos los experimentos.

4) Los datos obtenidos se tabulan y se elabora una gráfica de tiempo vs. concentración de yodo libre (indicando el tiempo en el cual se detectó la disolución total).

5) Se tendrán en almacenamiento las muestras preparadas para su posterior valoración cada 5 días durante 25 días desde la fecha de elaboración.

RESULTADOS:

Experimento 1 A

Temp. promedio = 20 °C.

TIEMPO (min.)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	9.54
10	12.11
15	14.05
20	14.82
25	15.41
30	15.80
50	17.65 *
70	17.51
90	17.42

Estabilidad del yodóforo

TIEMPO (días)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
0	17.42
1	16.34
5	15.49
10	15.58
15	15.10
20	15.05
25	14.92

Rendimiento máximo = 88.25 %

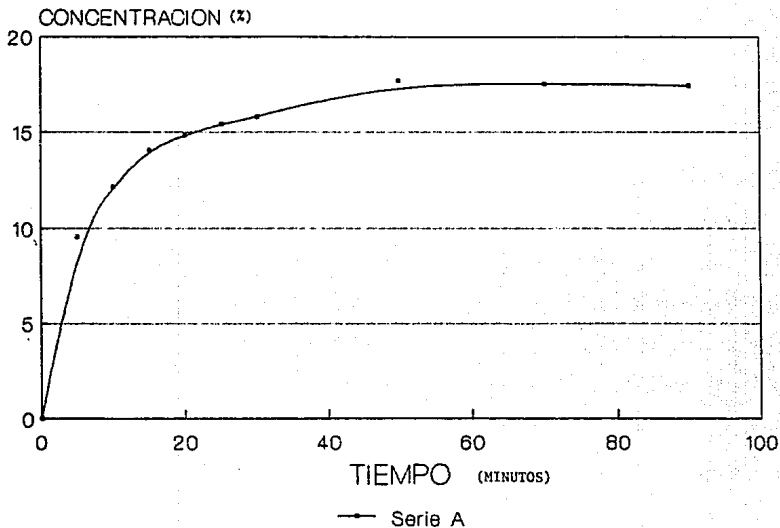
Degradación = 13.65 %

Rendimiento final = 74.60 %

* Disolución total del yodo en el agente tensoactivo.

EXPERIMENTO 1 A

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA • 20

Experimento 1 B

Temp. promedio = 30 - 35 °C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	12.80
10	15.39
15	18.41
20	18.88
25	17.25
30	17.29
50	17.62 *
70	17.52
90	17.35

Estabilidad del yodóforo

TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.35
1	18.24
5	15.53
10	15.20
15	15.11
20	15.05
25	15.01

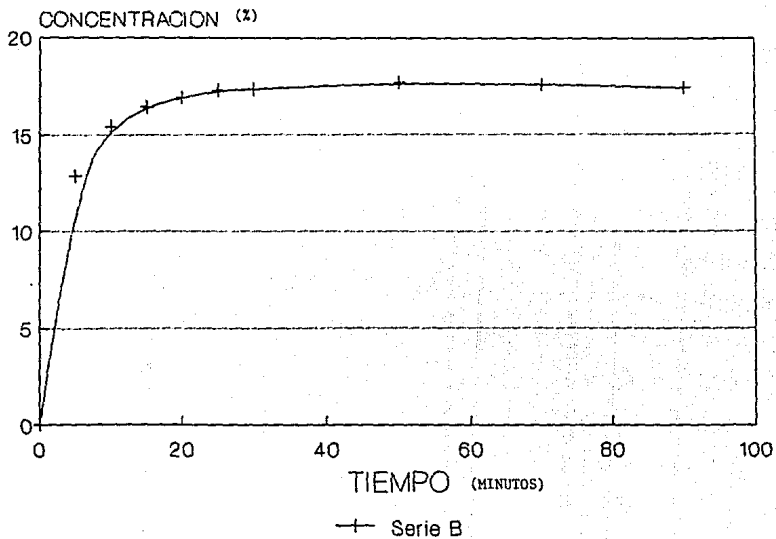
Rendimiento máximo = 88.10 %

Degradación = 13.05 %

Rendimiento final = 75.03 %

EXPERIMENTO 1 B

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 30 A 35

Experimento 1 C

Temp. promedio = 40 - 45 °C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	14.75
10	16.76
15	17.60
20	17.63 *
25	17.57
30	17.55

Estabilidad del yodóforo

TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.55
1	16.12
5	15.81
10	15.44
15	15.08
20	15.01
25	14.99

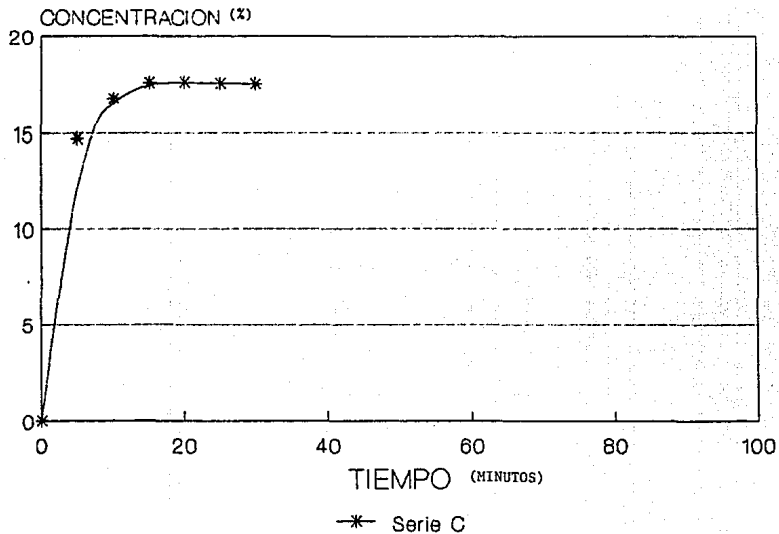
Rendimiento máximo = 98.15 %

Degradación = 13.2 %

Rendimiento final = 74.95 %

EXPERIMENTO 1 C

TIEMPO vs CONCENTRACION



63

TEMPERATURA = 40 A 45

Experimento 1 D

Temp. promedio = 60 - 65 °C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	17.22
10	17.70 *
15	17.51
20	17.36

Estabilidad del yodóforo

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.36
1	16.07
5	15.38
10	15.09
15	14.98
20	14.80
25	14.80

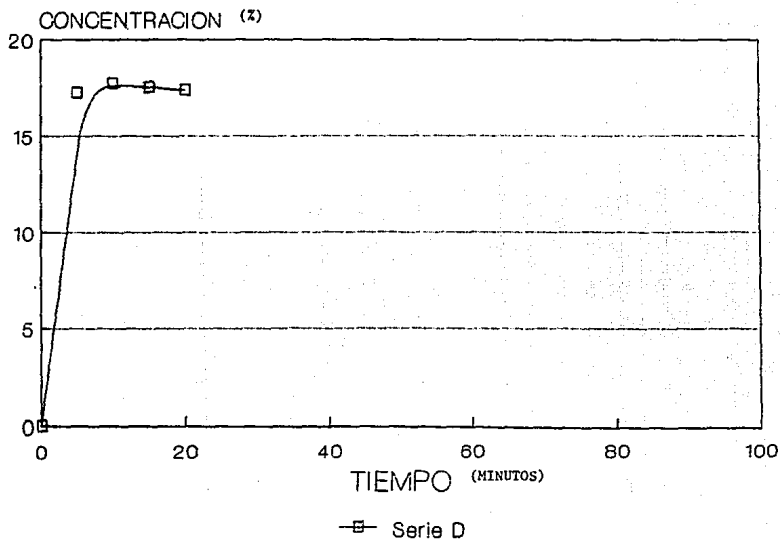
Rendimiento máximo = 88.50 %

Degradación = 14.50 %

Rendimiento final = 74.00 %

EXPERIMENTO 1 D

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 60 A 65

Tabulación Temperatura vs Tiempo

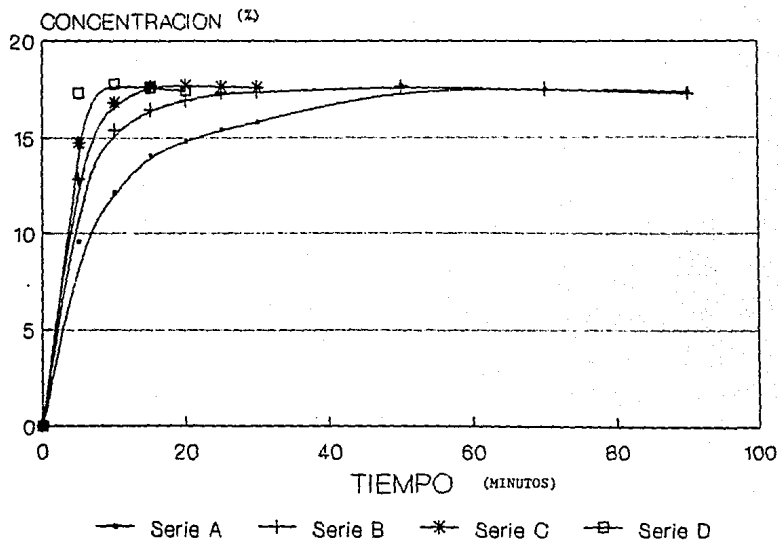
EXP	TEMPERATURA	T. disolución	T. agitación
No.	(°C)	min	min
1 A	20	50	90
1 B	30 - 35	50	90
1 C	40 - 45	20	30
1 D	50 - 55	10	20

Tabulación Temperatura vs. Rendimiento

TEMPERATURA (°C)	R E N D I M I E N T O		
	MAX.	FINAL	A LOS 25 días
20	99.25	87.10	74.60
30 - 35	98.10	86.75	75.05
40 - 45	98.15	87.75	74.95
50 - 55	99.50	96.80	74.00

EXPERIMENTO 1

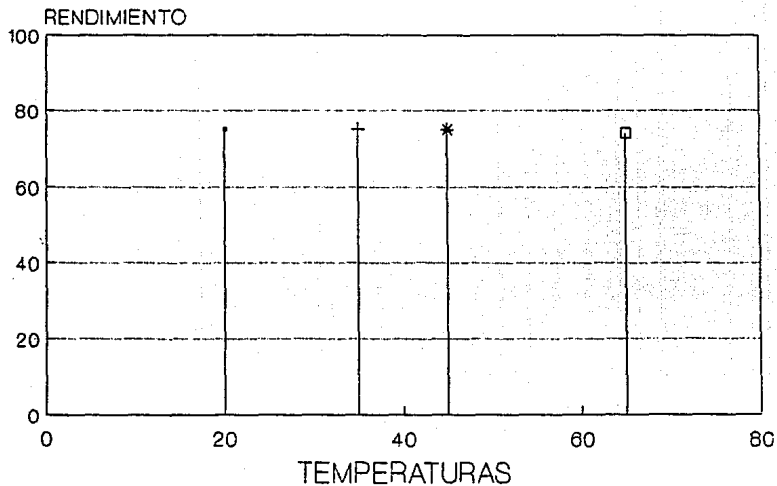
TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 20 A 65

EXPERIMENTO 1

RENDIMIENTO A LOS 25 DIAS

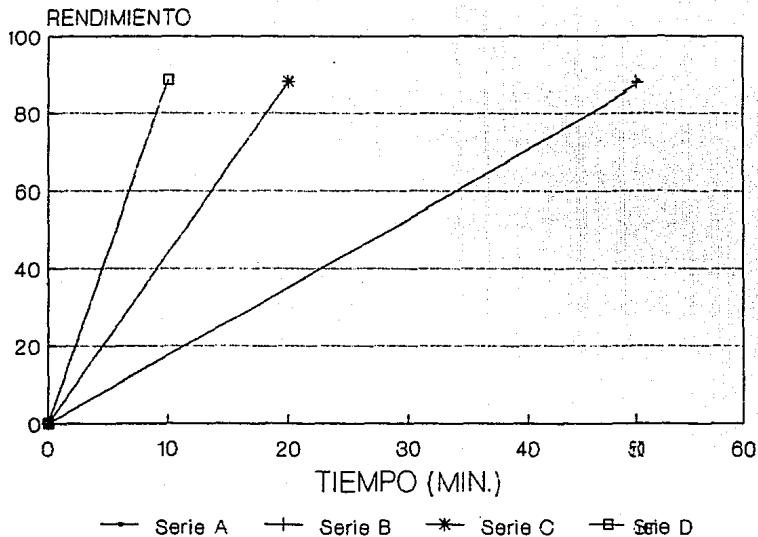


● Serie A + Serie B * Serie C □ Serie D

A = 20 B = 35 C = 45 D = 65

EXPERIMENTO 1

TIEMPO DE DISOLUCION VS RENDIMIENTO



A = 20 B = 35 C = 45 D = 65

Experimento 2 A

Temp. promedio = 20 - 25°C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	10.33
10	13.39
15	15.31
20	15.82
25	16.06
30	16.35
50	16.85
70	16.94
90	16.96
110	17.07 *
130	16.84
150	16.83
170	16.82
190	16.83

Estabilidad del yodóforo

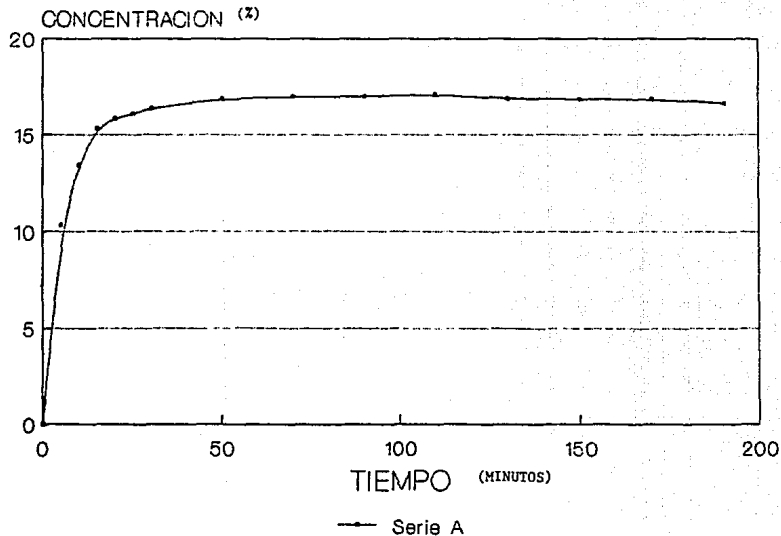
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	16.63
1	16.25
5	15.45
10	15.53
15	15.23
20	14.91
25	14.89
30	14.85
35	14.82
40	14.78

EXPERIMENTO 2 A

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 20

Experimento 2 B

Temp. promedio = 30 - 35°C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	13.38
10	15.60
15	16.38
20	16.74
25	17.08
30	17.10
35	17.25 *
40	17.11

Estabilidad del yodóforo

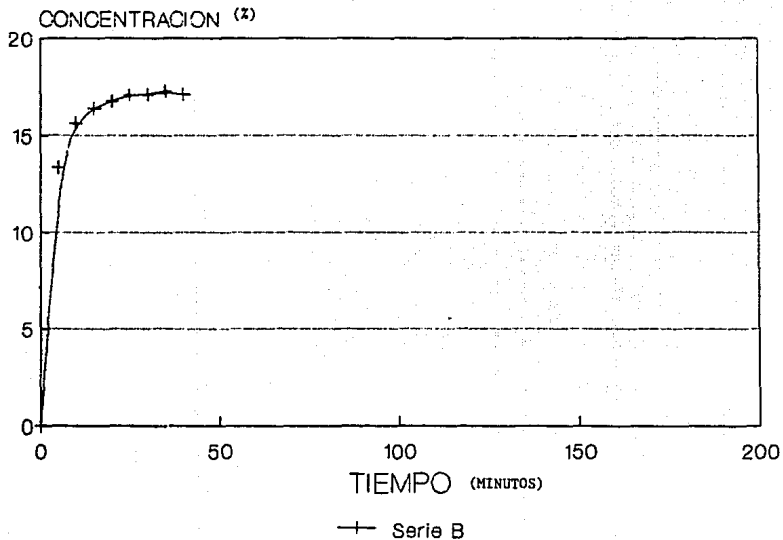
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.11
1	16.11
5	15.84
7	15.71
12	15.50
17	15.42
22	15.36
27	15.43
32	15.10
42	14.99

EXPERIMENTO 2 B

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 30 - 35

Experimento 2 C

Temp. promedio = 40 - 45°C

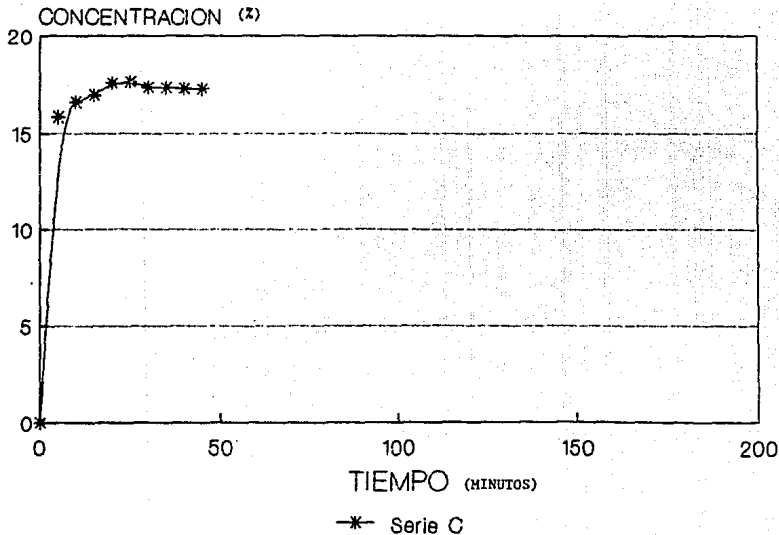
TIEMPO (min.)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	15.81
10	16.52
15	16.88
20	17.49
25	17.57 *
30	17.28
35	17.26
40	17.21
45	17.18

Estabilidad del yodóforo

TIEMPO (días)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
0	17.18
1	16.00
5	15.77
7	15.60
12	15.35
17	15.30
22	15.20
27	15.08
32	15.04
42	15.02

EXPERIMENTO 2 C

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA • 40 - 45

Experimento 2 D

Temp. promedio = 60 - 65°C

TIEMPO (min.)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

1	10.83
2	14.44
3	16.25
4	17.51
5	17.80 *
10	17.62
15	17.53
20	17.40
25	17.03

Estabilidad del yodóforo

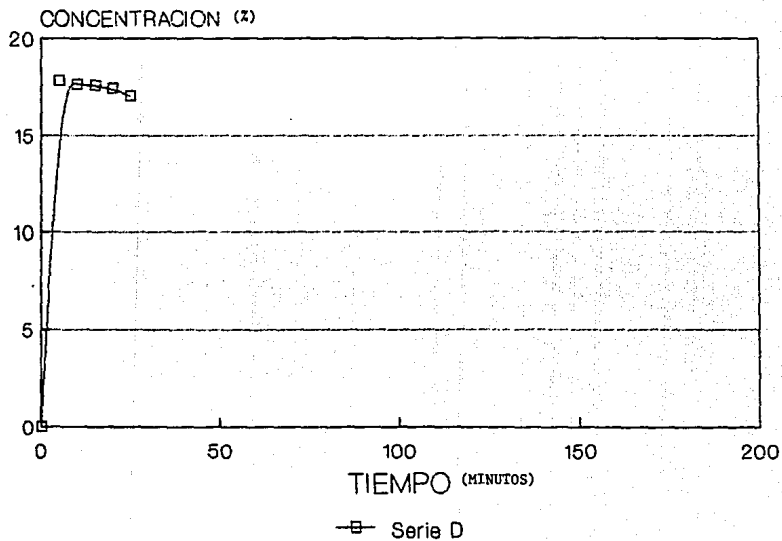
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.03
1	15.99
5	15.45
15	15.01
20	15.00
25	14.94
30	14.88
35	14.60

EXPERIMENTO 2 D

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 60 - 65

Tabulación temperatura vs. tiempo

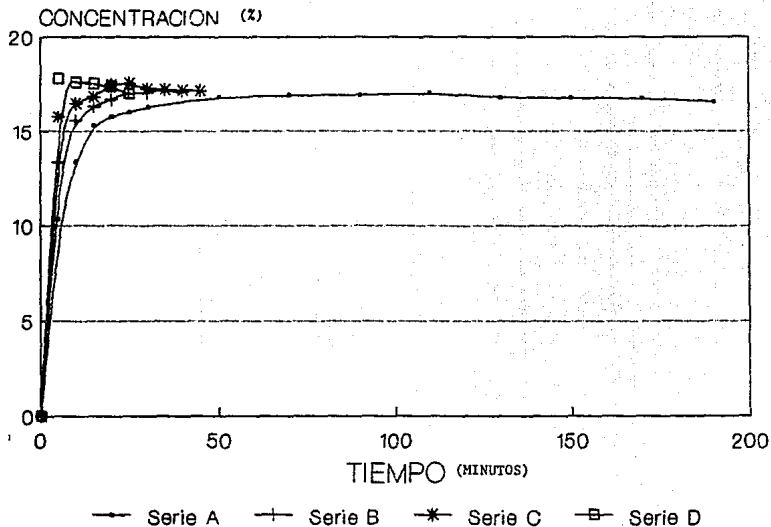
EXP. No.	TEMPERATURA (°C)	T. disolución (min)	T. agitación (min)
2 A	20	110	190
2 B	30 - 35	95	40
2 C	40 - 45	25	45
2 D	60 - 65	5	25

Tabulación temperatura vs. rendimiento

TEMPERATURA (°C)	R E N D I M I E N T O		
	MAX.	FINAL	A LOS 30 DIAS
20	85.35	83.15	74.25
30 - 35	88.25	85.55	75.50
40 - 45	87.85	85.90	75.20
60 - 65	89.00	85.15	74.40

EXPERIMENTO 2

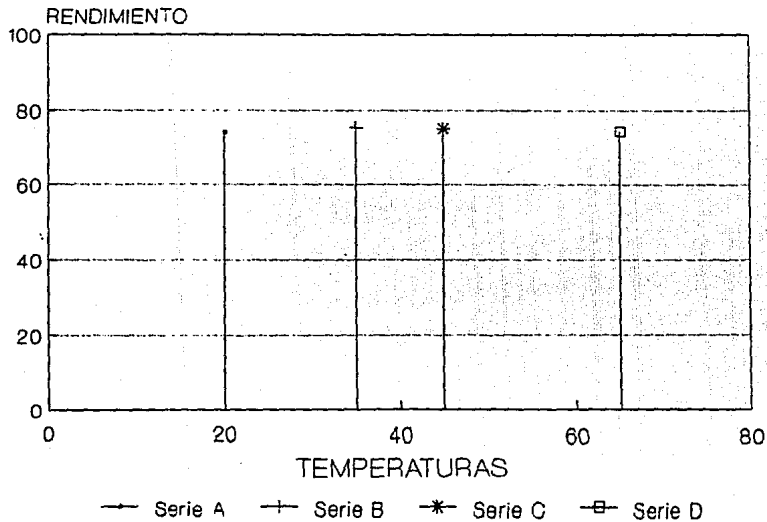
TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA • 20 - 65

EXPERIMENTO 2

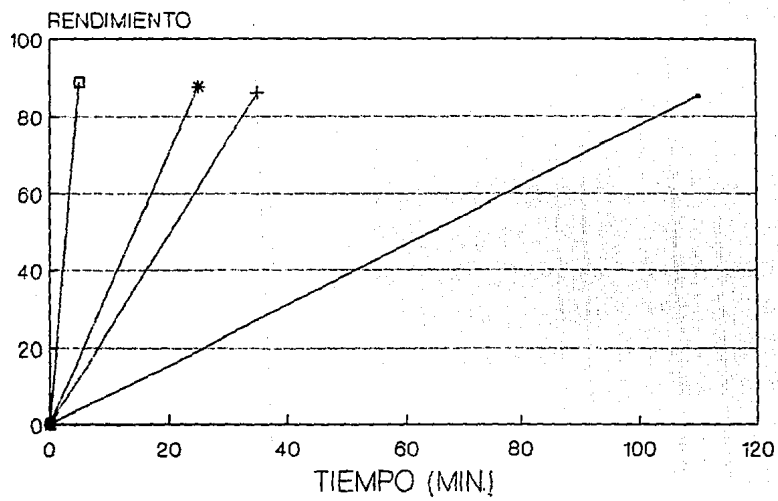
RENDIMIENTO A LOS 25 DIAS



A • 20 B • 35 C • 45 D • 65

EXPERIMENTO 2

TIEMPO DE DISOLUCION VS RENDIMIENTO



—●— Serie A —+— Serie B —*— Serie C —□— Serie D

A - 20 B - 35 C - 45 D - 65

Experimento 3 A

Temp. promedio = 20 °C

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (%) de yodo libre)

5	6.45
10	10.18
15	12.58
20	14.14
25	14.86
30	15.36
50	17.27
70	18.09
90	18.42
110	18.78
130	19.22 *
150	19.21
170	19.11
190	18.83
210	18.81

Estabilidad del yodóforo

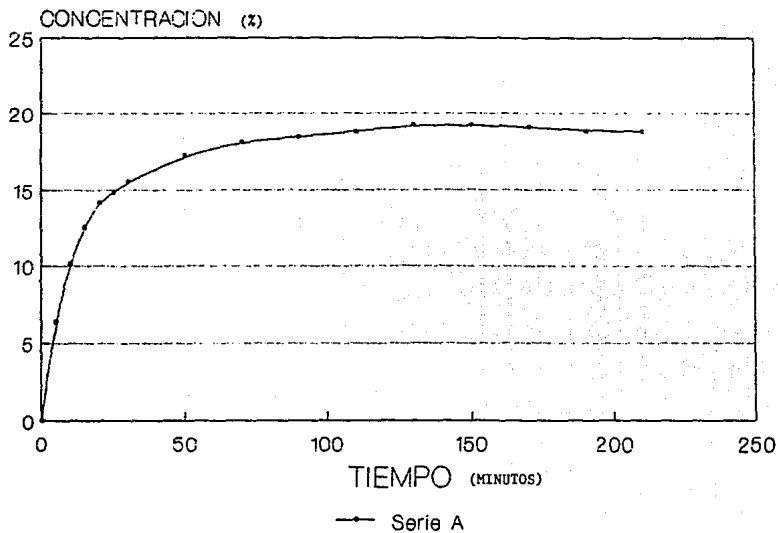
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (%) de yodo libre)

0	18.81
1	18.74
5	18.14
10	18.57
15	18.38
20	18.23
25	17.58

EXPERIMENTO 3 A

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 20

Experimento 3 B

Temp. promedio = 30 - 35 °C

TIEMPO (min)**CONCENTRACION (% de yodo libre)**

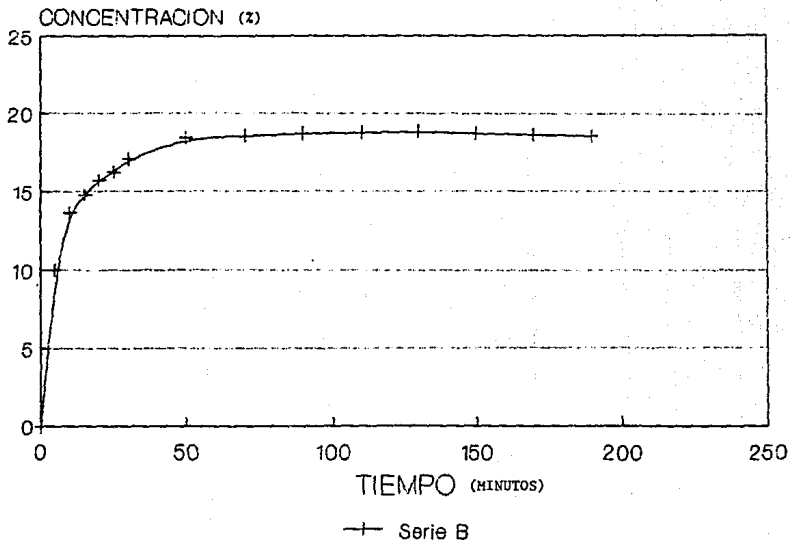
5	9.99
10	13.83
15	14.74
20	15.67
25	16.33
30	17.17
50	18.51
70	18.59
90	18.80
110	18.84
130	18.92 *
150	18.82
170	18.74
190	18.65

Estabilidad del yodóforo**TIEMPO (días)****CONCENTRACION (% de yodo libre)**

0	18.65
1	18.43
5	18.12
10	18.57
15	17.92
20	17.53
25	17.39

EXPERIMENTO 3 B

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 30 - 35

Experimento 3 C

Temp. promedio = 40 - 45 ° C

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	13.33
10	16.49
15	18.03
20	18.58
25	18.64
30	18.89
50	18.95
70	19.35
90	19.37 *
110	18.69
130	17.83

Estabilidad del yodóforo

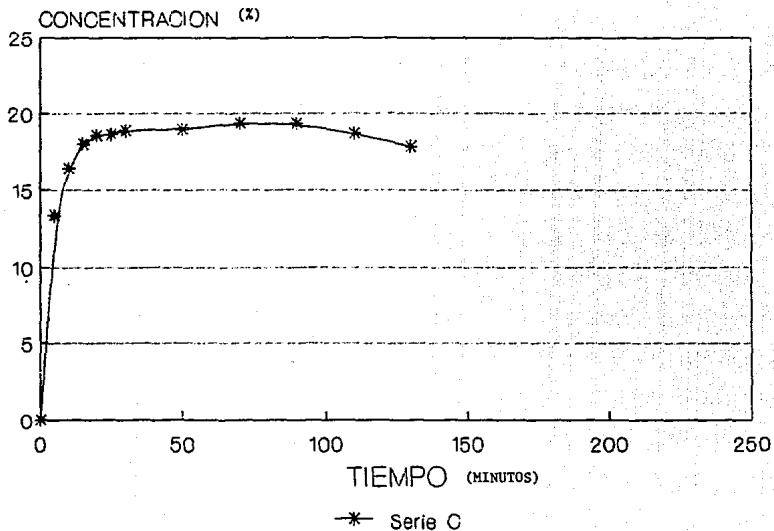
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	17.83
1	17.59
5	17.58
10	17.56
15	17.56
20	17.54
25	17.33

EXPERIMENTO 3 C

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 40 - 45

Experimento 3 D

Temp. promedio = 60 - 85 ° C

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	16.64
10	18.02
15	18.22
20	18.58
25	18.58
30	18.69
50	18.84 *
70	18.38
90	18.28

Estabilidad del yodóforo

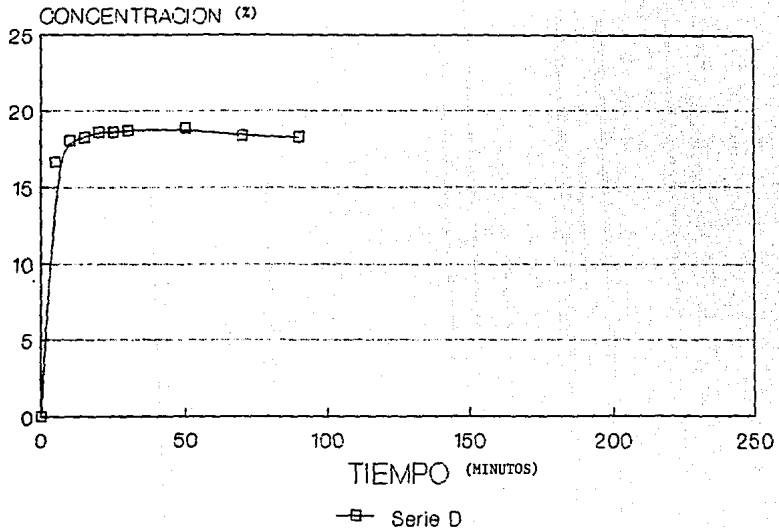
TIEMPO (días)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

0	18.28
1	17.66
5	17.44
10	17.20
15	18.92
20	18.78
25	18.64

EXPERIMENTO 3 D

TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA = 60 - 65

Tabulación temperatura vs. tiempo

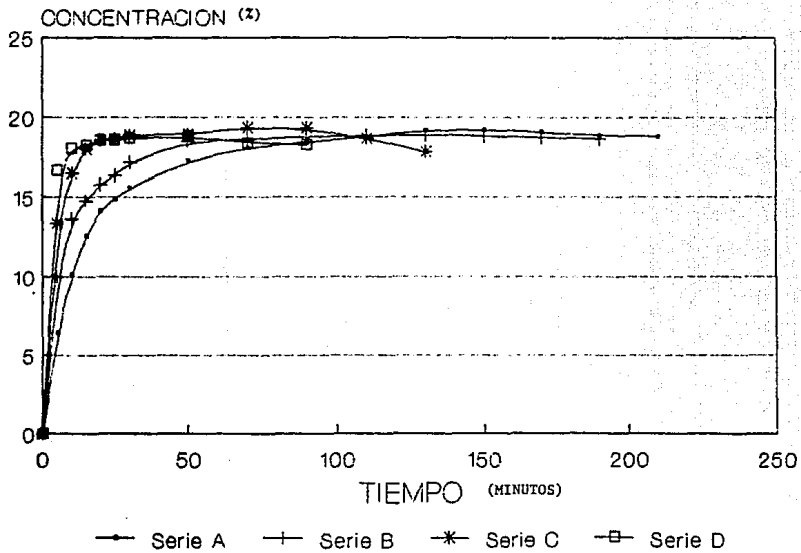
EXP.	TEMPERATURA	T. disolución	T. agitación
No.	(° C)	(min)	(min)
3 A	20	130	210
3 B	30 - 35	130	190
3 C	40 - 45	90	130
3 D	60 - 65	50	90

Tabulación temperatura vs. rendimiento

TEMPERATURA (° C)	R E N D I M I E N T O		
	MAX.	FINAL	A LOS 25 DIAS
20	96.10	94.05	87.90
30 - 35	94.60	93.25	86.95
40 - 45	96.85	89.15	86.65
60 - 65	94.20	91.40	83.20

EXPERIMENTO 3

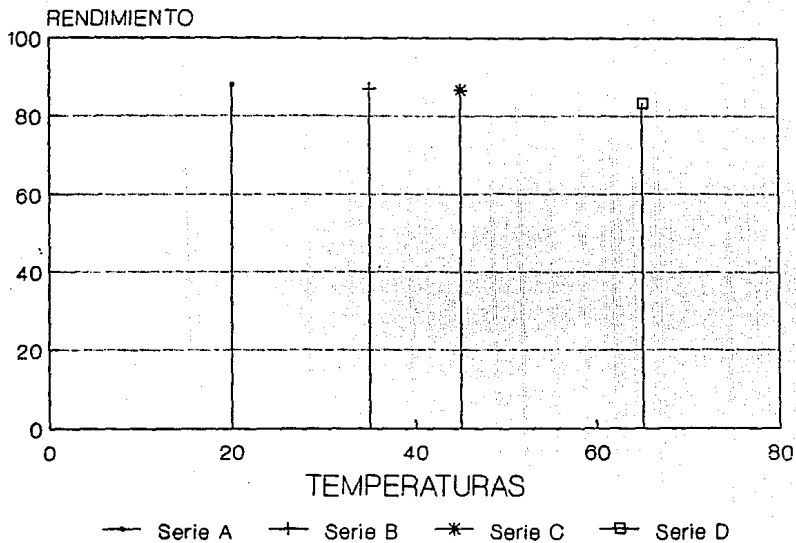
TIEMPO vs CONCENTRACION



TEMPERATURA • 20 - 65

EXPERIMENTO 3

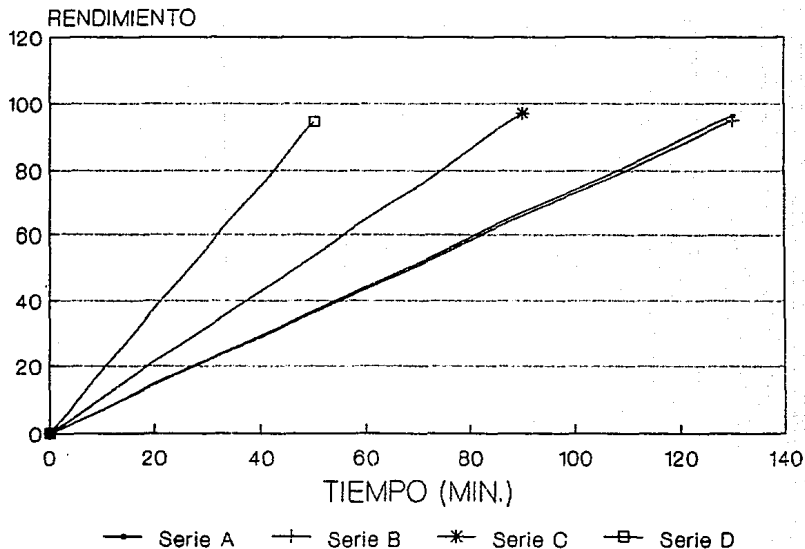
RENDIMIENTO A LOS 25 DIAS



A • 20 B • 35 C • 45 D • 65

EXPERIMENTO 3

TIEMPO DE DISOLUCION VS RENDIMIENTO



A • 20 B • 35 C • 45 D • 65

Experimento 4

En este experimento se presentó un problema de muy baja disolución del yodo en la mezcla de tensoactivos, lo cual se debe principalmente a la presencia del tensoactivo aniónico, ya que al realizar el experimento a 20°C no se disolvía el yodo metálico, y se decidió hacer el experimento a 60°C para ver si se obtenía incorporación del yodo metálico en los tensoactivos a alta temperatura, obteniendo una disolución parcial del yodo y bajo rendimiento en un periodo de tiempo de 16 horas. Además la dificultad en la determinación del yodo libre, ya que el concentrado es muy poco soluble en agua.

Experimento 5

En este experimento se presentó el problema de que no se incorpora el yodo metálico al tensoactivo, quedando un producto separado en dos fases, una líquida transparente en la cual no se incorpora nada de yodo y otra sólida muy pesada de color café rojizo (semejante al óxido) donde se encuentra contenido todo el yodo que se agregó. Es el único yodóforo que reaccionó de esta manera. La determinación del contenido de yodo libre por método volumétrico no es posible. Debido al resultado poco satisfactorio obtenido con este concentrado ya no se intentó elaborar el yodóforo diluido.

CONCLUSIONES

De la serie experimental realizada podemos concluir lo siguiente:

1) De las cinco fórmulas elaboradas con diferentes tipos de tensoactivos se comprueba en forma práctica que los tensoactivos de tipo iónicos no son adecuados para la elaboración de los yodóforos, ya que presentan diversos problemas, como son, separación de fases, bajo complejamiento de yodo en el tensoactivo, bajo rendimiento y problemas en la determinación de yodo libre, etc. En cambio con los tensoactivos no iónicos no se tuvieron estos problemas obteniendo buenos resultados.

2) La temperatura es un factor determinante en cuanto al tiempo de elaboración, ya que se puede observar en las gráficas de tiempo vs. concentración de cada experimento (1 - 3) una disminución considerable conforme aumenta la temperatura. Podemos observar en las tablas y gráficas que el experimento 3 tardó mas tiempo en disolver el yodo que los experimentos 1 y 2 en todas la temperaturas, sin embargo este experimento obtuvo los mayores rendimientos de yodo libre.

3) La temperatura no tiene efecto sobre el rendimiento de los yodóforos elaborados en los experimentos 1 y 2, y en el experimento 3 el efecto es poco significativo (ver tablas y gráficas). Es importante mencionar que las pérdidas por sublimación son casi las mismas a cualquier temperatura.

4) La temperatura no tiene ningun efecto sobre la degradación de los yodóforos ya que se obtiene un rendimiento similar en todos los concentrados después de 25 días de vida de anaquel.

5) Las propiedades de los yodóforos concentrados no cambian con la temperatura en una misma fórmula, por ejemplo, el experimento 1 A elaborado con temperatura ambiente presenta las mismas propiedades que el 1 D elaborado a 60 - 65 °C.

Por lo visto en los puntos anteriores podemos determinar que la siguiente serie de experimentos serán elaborados a 65 °C, y que las fórmulas 4 y 5 quedarán eliminadas.

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DE YODO METALICO SOBRE EL RENDIMIENTO Y COSTO DEL PRODUCTO FINAL

OBJETIVO: Abatir el costo del producto en base a la concentración de yodo metálico.

FORMULACIONES:

EXPERIMENTO 6

No EXP	YODO METALICO % EN PESO	NONIL FENOL (10 moles) % EN PESO	A. FOSFORICO % EN PESO	COSTO
6 A	15	84	1	8,890.2
6 B	20	79	1	10,385.7
6 C	23	76	1	11,251.0
6 D	25	74	1	11,840.7
6 E	28	71	1	12,728.5
6 F	30	69	1	13,316.7
6 G	35	64	1	14,792.2

EXPERIMENTO 7

No EXP	YODO METALICO % EN PESO	N-F 15 % EN PESO	N-F 4 % EN PESO	A. FOSFORICO % EN PESO	COSTO
7 A	15	68.14	15.86	1	8,597.1
7 B	20	64.08	14.92	1	10,090.2
7 C	23	61.64	14.36	1	10,986.0
7 D	25	60.02	13.98	1	11,583.2
7 E	28	57.59	13.41	1	12,479.8
7 F	30	55.96	13.04	1	13,076.2
7 G	35	51.91	12.09	1	14,569.3

EXPERIMENTO 8

No EXP	YODO METALICO % EN PESO	PL. L-64 % EN PESO	PL. L-62 % EN PESO	A. FOSFORICO % EN PESO	COSTO
8 A	15	72.11	11.89	1	13,175.00
8 B	20	67.81	11.19	1	14,306.30
8 C	23	65.23	10.77	1	15,128.60
8 D	25	63.52	10.48	1	15,616.70
8 E	28	60.94	10.06	1	16,348.00
8 F	30	59.22	9.78	1	16,837.10
8 G	35	54.93	9.07	1	18,057.50

TABLA DE COSTOS DE MATERIAS PRIMAS

MATERIA PRIMA	FECHA	COSTO
YODO METALICO	15-Dic.-91	34,008.00
NONIL FENOL 10 MOLES	15-Dic.-91	4,498.00
NONIL FENOL 15 MOLES	15-Dic.-91	3,858.00
NONIL FENOL 4 MOLES	15-Dic.-91	5,400.00
PROPILENOXIDO-ETILENOXIDO (MEZCLA)	15-Dic.-91	9,600.00
ACIDO FOSFORICO	15-Dic.-91	1,071.00

El rango de yodo metálico en las formulaciones se tomó de 15 a 35 por ciento en peso, ya que a menor porcentaje de yodo metálico se incrementa el costo del producto final porque se requieren mayores cantidades del concentrado para obtener el 1.75 % de yodo libre que marca la especificación y a mayor porcentaje no se incrementa el rendimiento de yodo libre, además de que se dificulta la incorporación del yodo en el agente tensoactivo.

METODOLOGIA:

Con la temperatura óptima, determinada en la primera parte experimental, se correrán las pruebas en esta serie de experimentos.

1) Se mezcla el tensoactivo con agitación y temperatura constante, regulando esta última de acuerdo a los requerimientos del experimento. Posteriormente se agrega la proporción de ácido fosfórico correspondiente.

2) Se agrega completa la proporción de yodo metálico y se continúa con la agitación, determinando el tiempo en el cual se alcanza la disolución total.

3) Se continúa agitando por un periodo correspondiente a la mitad del tiempo que tardó en disolverse (50% más).

4) Al finalizar la agitación se valorará el porcentaje de yodo libre, dicho concentrado se valorará cada 5 días durante un periodo de 30 días.

5) Con el mismo concentrado a partir del primer día se preparan los productos comerciales, que los denominaremos yodóforo H cada 10 días, valorando estos durante 10 días cada uno.

NOTA IMPORTANTE: La concentración del yodóforo H en la valoración deberá ser de 1.74 a 1.78 % de yodo libre, anotando la cantidad de yodóforo concentrado para la obtención de dicho porcentaje; en caso de no obtener el porcentaje requerido deberá repetirse.

FORMULA DEL YODOFORO H

	% en peso
Yodóforo concentrado	variable
Acido fosfórico	3.5
Agua	cbp 100 %

PRUEBAS DE ESTABILIDAD FISICA. (separación de fases)

- 1) Del yodóforo H recién preparado se toma una muestra y se deja reposar durante 30 días en un tubo de ensaye.
- 2) Del yodóforo H recién preparado se toma una muestra y se somete a temperatura de 40°C durante 2 horas en un tubo de ensaye.
- 3) Someter el producto recién preparado a centrifuga en un tubo de ensaye.

RESULTADOS:

EXPERIMENTO 6 A

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	13.47
10	13.33

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	6 AH1	6 AH2	6 AH3	6 AH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	12.44	1.74				14.14
2		1.69				
3		1.63				
4		1.61				
5	11.89	1.61				
6		1.60				
7		1.58				
8		1.55				
9		1.55				
10	11.70	1.52	1.74			15.04
11			1.68			
12			1.65			
13			1.63			
14			1.57			
15	11.39		1.53			
16			1.52			
17			1.51			
18			1.48			
19			1.47			
20	11.23		1.46	1.74		15.67
21				1.74		
22				1.72		
23				1.72		
24				1.72		
25	11.13			1.72		
26				1.71		
27				1.71		
28				1.70		
29				1.70		
30	11.04			1.70	1.74	15.35

EXPERIMENTO B B

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	17.30
10	17.16
15	16.78

Estabilidad de los yodóforos.

TIEMPO (días)	CONC.	6 BH1	6 BH2	6 BH3	6 BH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	18.78	1.78				10.48
2		1.84				
3		1.81				
4		1.80				
5	15.87	1.80				
6		1.55				
7		1.54				
8		1.53				
9		1.53				
10	15.41	1.52	1.75			11.42
11			1.71			
12			1.67			
13			1.66			
14			1.65			
15	15.15		1.65			
16			1.63			
17			1.61			
18			1.59			
19			1.58			
20	14.98		1.58	1.78		11.76
21				1.73		
22				1.72		
23				1.71		
24				1.70		
25	14.57			1.70		
26				1.70		
27				1.70		
28				1.68		
29				1.68		
30	13.37			1.68	1.75	13.08

EXPERIMENTO 5 C

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	20.15
10	20.03
15	19.83

Estabilidad de los yodóforos.

TIEMPO (días)	CONC.	6 CH1	6 CH2	6 CH3	6 CH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	19.83	1.75				8.87
2		1.73				
3		1.89				
4		1.58				
5	17.83	1.58				
6		1.56				
7		1.53				
8		1.52				
9		1.51				
10	17.82	1.51	1.74			9.87
11			1.70			
12			1.69			
13			1.69			
14			1.66			
15	17.13		1.66			
16			1.66			
17			1.66			
18			1.65			
19			1.65			
20	17.02		1.62	1.75		10.22
21				1.75		
22				1.75		
23				1.74		
24				1.74		
25	16.84			1.74		
26				1.74		
27				1.74		
28				1.74		
29				1.73		
30	16.84			1.73	1.78	10.45

EXPERIMENTO 6 D

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	22.50
10	21.82
15	20.01

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	6 DH1	6 DH2	6 DH3	6 DH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	20.01	1.74				8.75
2		1.89				
3		1.88				
4		1.88				
5	19.08	1.85				
6		1.83				
7		1.63				
8		1.63				
9		1.80				
10	18.92	1.58	1.78			9.30
11			1.76			
12			1.76			
13			1.71			
14			1.70			
15	18.58		1.69			
16			1.69			
17			1.88			
18			1.89			
19			1.86			
20	18.58		1.88	1.78		9.46
21				1.71		
22				1.70		
23				1.70		
24				1.70		
25	18.41			1.69		
26				1.69		
27				1.69		
28				1.69		
29				1.69		
30	18.41			1.69	1.76	9.56

EXPERIMENTO 6 E

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	25.18
10	24.89
15	24.05

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	6 EH1	6 EH2	6 EH3	6 EH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	24.05	1.77				7.31
2		1.68				
3		1.87				
4		1.85				
5	21.39	1.61				
6		1.60				
7		1.57				
8		1.56				
9		1.58				
10	21.08	1.58	1.74			8.34
11			1.72			
12			1.89			
13			1.68			
14			1.88			
15	21.06		1.68			
16			1.88			
17			1.67			
18			1.68			
19			1.66			
20	20.71		1.65	1.78		8.49
21				1.75		
22				1.75		
23				1.75		
24				1.74		
25	20.94			1.74		
26				1.74		
27				1.74		
28				1.73		
29				1.72		
30	20.83			1.71	1.74	8.34

EXPERIMENTO 8 F

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	26.05
10	26.05
15	25.32
20	25.12
25	24.64

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	8 FH1	8 FH2	8 FH3	8 FH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	24.64	1.77				7.14
2		1.73				
3		1.68				
4		1.68				
5	23.34	1.68				
6		1.64				
7		1.63				
8		1.62				
9		1.61				
10	22.75	1.51	1.75			7.73
11			1.73			
12			1.73			
13			1.73			
14			1.73			
15	22.49		1.72			
16			1.71			
17			1.71			
18			1.70			
19			1.69			
20	21.71		1.69	1.78		8.10
21				1.75		
22				1.73		
23				1.73		
24				1.73		
25	22.39			1.74		
26				1.73		
27				1.73		
28				1.74		
29				1.75		
30	21.87			1.77	1.75	8.04

EXPERIMENTO 6 G

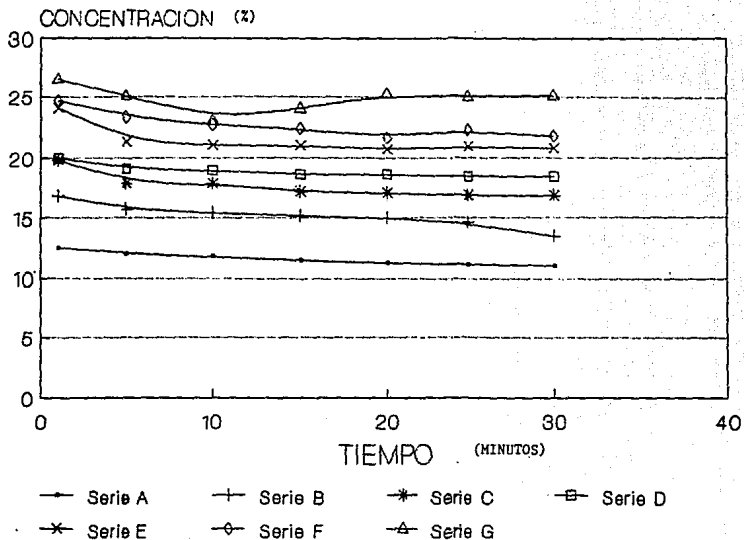
TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	27.36
10	27.10
15	26.83
20	26.59
25	26.53

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	6 GH1	6 GH2	6 GH3	6 GH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	26.53	1.87				6.06
2		1.84				
3		1.32				
4		1.51				
5	25.05	1.45				
6		1.51				
7		1.45				
8		1.58				
9		1.61				
10	23.08	1.42	1.78			7.39
11			1.69			
12			1.68			
13			1.61			
14			1.58			
15	24.04		1.58			
16			1.65			
17			1.64			
18			1.65			
19			1.64			
20	25.23		1.64	1.74		6.99
21				1.53		
22				1.55		
23				1.56		
24				1.62		
25	25.00			1.62		
26				1.66		
27				1.53		
28				1.52		
29				1.52		
30	25.11			1.55	1.79	6.96

EXPERIMENTO 6

TIEMPO VS CONC. DE YODO



EXPERIMENTO 7 A

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	13.73
10	13.98
15	14.06
20	13.93
28	13.18

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 AH1	7 AH2	7 AH3	7 AH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	13.16	1.78				13.37
2		1.67				
3		1.64				
4		1.64				
5	12.48	1.61				
6		1.61				
7		1.60				
8		1.58				
9		1.58				
10	12.11	1.58	1.76			14.53
11			1.71			
12			1.72			
13			1.72			
14			1.72			
15	12.04		1.70			
16			1.67			
17			1.67			
18			1.67			
19			1.64			
20	11.80		1.64	1.78		14.91
21				1.77		
22				1.77		
23				1.72		
24				1.72		
25	11.80			1.72		
26				1.72		
27				1.72		
28				1.72		
29				1.72		
30	11.80			1.72	1.79	14.99

EXPERIMENTO 7 B

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	17.10
10	17.45
15	17.36
20	16.72

Estabilidad de los concentrados

TIEMPO (días)	CONC.	7 BH1	7 BH2	7 BH3	7 BH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	16.72	1.75				10.52
2		1.65				
3		1.65				
4		1.59				
5	15.29	1.59				
6		1.59				
7		1.59				
8		1.58				
9		1.57				
10	15.20	1.57	1.76			11.57
11			1.75			
12			1.75			
13			1.74			
14			1.74			
15	15.20		1.73			
16			1.73			
17			1.73			
18			1.73			
19			1.71			
20	15.22		1.71	1.75		11.36
21				1.75		
22				1.74		
23				1.74		
24				1.74		
25	14.92			1.74		
26				1.73		
27				1.73		
28				1.73		
29				1.73		
30	14.64			1.71	1.78	11.98

EXPERIMENTO 7 C

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	19.34
10	20.19
15	20.03
20	18.90

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 CH1	7 CH2	7 CH3	7 CH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	18.90	1.75				9.29
2		1.71				
3		1.88				
4		1.87				
5	17.86	1.88				
6		1.65				
7		1.84				
8		1.62				
9		1.62				
10	17.50	1.62	1.75			9.95
11			1.72			
12			1.72			
13			1.72			
14			1.73			
15	17.28		1.72			
16			1.72			
17			1.72			
18			1.70			
19			1.70			
20	17.22		1.70	1.78		10.22
21				1.77		
22				1.76		
23				1.76		
24				1.76		
25	17.10			1.76		
26				1.75		
27				1.73		
28				1.73		
29				1.73		
30	16.99			1.73	1.77	10.35

EXPERIMENTO 7 D

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	20.61
10	21.75
15	21.54
20	20.49

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 DH1	7 DH2	7 DH3	7 DH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	20.49	1.78				8.58
2		1.70				
3		1.70				
4		1.70				
5	19.23	1.69				
6		1.68				
7		1.65				
8		1.64				
9		1.63				
10	18.99	1.63	1.75			9.21
11			1.71			
12			1.69			
13			1.69			
14			1.69			
15	18.93		1.69			
16			1.69			
17			1.70			
18			1.70			
19			1.70			
20	18.57		1.70	1.76		9.47
21				1.72		
22				1.70		
23				1.70		
24				1.69		
25	18.54			1.69		
26				1.70		
27				1.70		
28				1.69		
29				1.71		
30	18.22			1.69	1.76	9.65

EXPERIMENTO 7 E

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	23.71
10	24.50
15	24.24
20	22.84

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 EH1	7 EH2	7 EH3	7 EH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	22.84	1.76				7.70
2		1.66				
3		1.66				
4		1.66				
5	21.61	1.66				
6		1.65				
7		1.64				
8		1.64				
9		1.63				
10	20.70	1.64	1.78			8.50
11			1.76			
12			1.76			
13			1.79			
14			1.79			
15	20.63		1.79			
16			1.79			
17			1.77			
18			1.77			
19			1.78			
20	20.70		1.77	1.77		8.50
21				1.76		
22				1.77		
23				1.79		
24				1.78		
25	20.61			1.78		
26				1.77		
27				1.79		
28				1.79		
29				1.79		
30	20.37			1.77	1.78	8.64

EXPERIMENTO 7 F

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	25.78
10	26.06
15	26.03
20	24.05

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 FH1	7 FH2	7 FH3	7 FH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	24.05	1.74				7.31
2		1.74				
3		1.75				
4		1.74				
5	22.36	1.73				
6		1.71				
7		1.70				
8		1.69				
9		1.69				
10	22.39	1.69	1.78			7.86
11			1.74			
12			1.72			
13			1.72			
14			1.76			
15	22.30		1.74			
16			1.76			
17			1.77			
18			1.77			
19			1.77			
20	21.95		1.76	1.78		8.01
21				1.80		
22				1.79		
23				1.80		
24				1.80		
25	21.30			1.80		
26				1.79		
27				1.80		
28				1.80		
29				1.80		
30	21.24			1.80	1.78	8.28

EXPERIMENTO 7 G

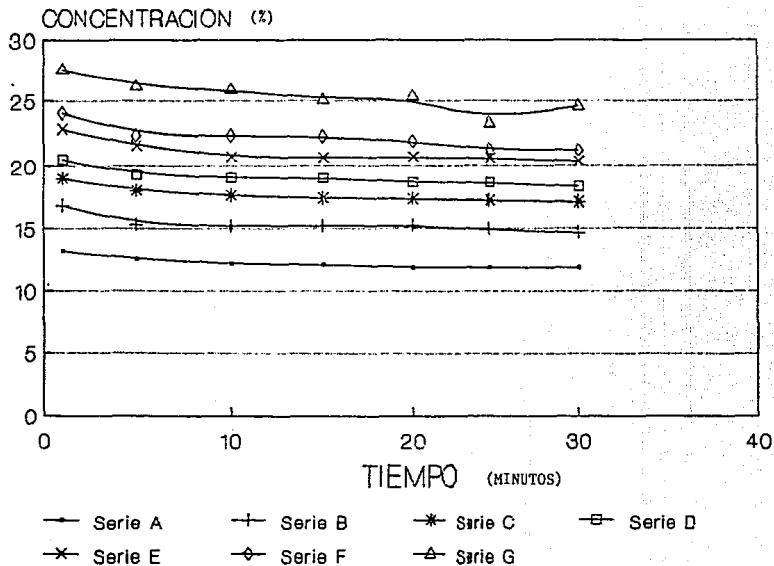
TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	29.32
10	29.89
20	29.24
25	27.49

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	7 GH1	7 GH2	7 GH3	7GH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	27.49	1.78				6.40
2		1.92				
3		1.96				
4		1.96				
5	26.15	1.87				
6		1.88				
7		1.71				
8		1.84				
9		1.77				
10	25.88	1.84	1.75			6.80
11			1.44			
12			1.37			
13			1.66			
14			1.67			
15	25.07		1.61			
16			1.69			
17			1.64			
18			1.68			
19			1.59			
20	25.34		1.56	1.74		6.94
21				1.70		
22				1.77		
23				1.75		
24				1.70		
25	23.28			1.71		
26				1.80		
27				1.83		
28				1.82		
29				1.72		
30	24.55			1.80	1.40	7.16

EXPERIMENTO 7

TIEMPO VS CONC. DE YODO



EXPERIMENTO 8 A

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	7.72
10	13.80
15	13.90
20	13.79
25	13.90
30	14.12
50	13.30
75	12.83

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	8 AH1	8 AH2	8 AH3	8 AH4	Cantidad conc.
		(porcentajes)				
1	13.00	1.88				13.55
2		1.24				
3		1.20				
4		1.11				
5	13.20	1.29				
6		1.30				

Observaciones:

El producto diluido presenta un precipitado muy fino de yodo metálico, esto indica que el yodo metálico no es incorporado totalmente por el tensoactivo, razón por la cual se dificultaba la valoración del yodo libre en el producto concentrado, desde el experimento 3. La primera valoración del yodóforo diluido dió como resultado 1.88, agitando antes del muestreo, y 1.25 sin agitación. La separación es inmediata. Debido al tamaño de partícula del yodo no disuelto, no se apreció en el concentrado este fenómeno además de que también influye la alta viscosidad del producto concentrado.

Se propone otro experimento usando la misma formulación dada en 8 A, pero agitando 4 veces más que en el experimento anteriormente realizado, es decir, 300 minutos. Esto se hace con el fin de observar si es posible la disolución total del yodo en este tipo de tensoactivos. El experimento se hace a la misma temperatura.

El resultado obtenido con el nuevo experimento fué el mismo que el anterior. Se observa una pequeña variación en el contenido de yodo precipitado pero practicamente sigue siendo muy abundante. La precipitación es inmediata.

Se realizaron experimentos a mayor concentración de yodo metálico (8 B 8 C) pero presentaron el mismo fenómeno de precipitación pero en mayor proporción.

TABULACION DE DATOS

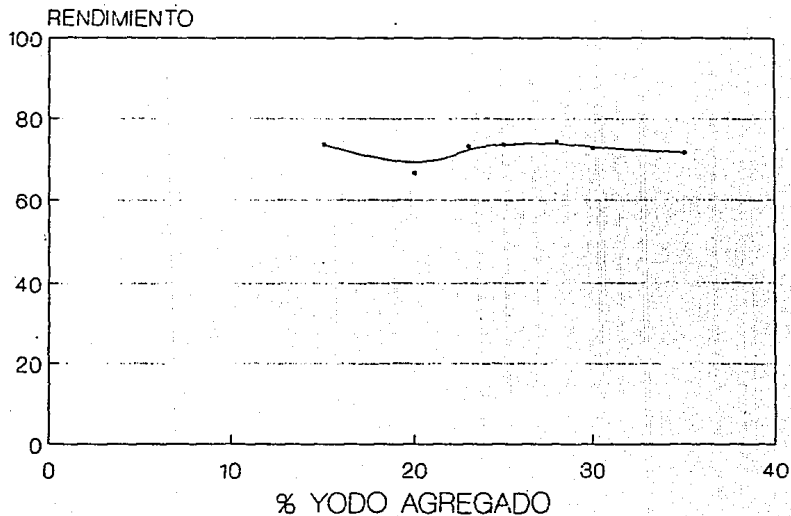
EXP.	YODO AGREGADO	YODO LIBRE OBTENIDO			
No.	(porcentaje)	MAXIMO	30 DIAS	REND.	COSTO \$
6 A	15	12.44	11.04	73.60	8,890.20
6 B	20	16.78	13.37	66.85	10,365.70
6 C	23	19.83	16.84	73.21	11,251.00
6 D	25	20.01	18.41	73.64	11,840.70
6 E	28	24.05	20.83	74.39	12,726.50
6 F	30	24.64	21.67	72.90	13,316.70
6 G	35	26.53	25.11	71.74	14,792.20
7 A	15	13.16	11.80	78.86	8,597.10
7 B	20	16.72	14.64	73.20	10,090.20
7 C	23	18.90	16.99	73.86	10,986.00
7 D	25	20.49	18.22	73.68	11,583.20
7 E	28	22.84	20.37	72.75	12,478.80
7 F	30	24.05	21.24	70.80	13,076.20
7 G	35	27.49	24.55	70.14	14,569.30

¼ YODO AGREGADO VS YODO REQUERIDO

EXPERIMENTO	YODO AGREGADO	YODO REQUERIDO
6 A	15	15.95
6 B	20	13.08
6 C	23	10.45
6 D	25	9.53
6 E	28	8.34
6 F	30	8.04
6 G	35	6.98
7 A	15	14.99
7 B	20	11.98
7 C	23	10.35
7 D	25	9.65
7 E	28	8.64
7 F	30	8.29
7 G	35	7.18

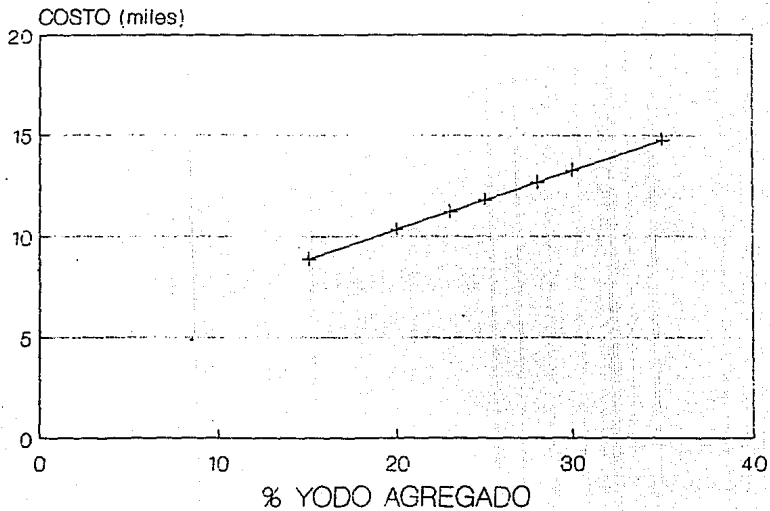
EXPERIMENTO 6

% YODO AGREGADO VS RENDIMIENTO



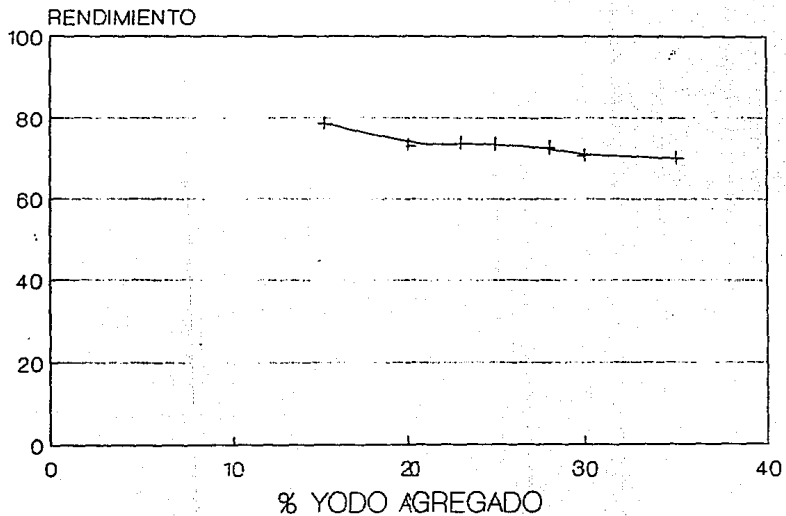
EXPERIMENTO 6

% YODO AGREGADO VS COSTO CONCENTRADO



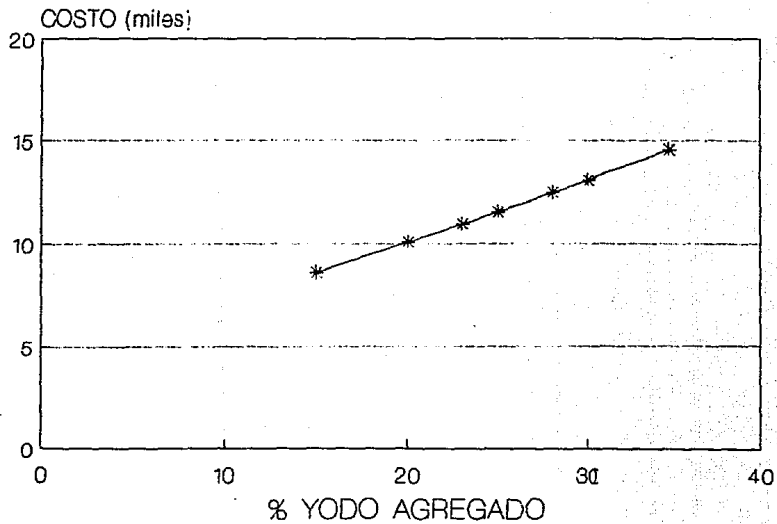
EXPERIMENTO 7

% YODO AGREGADO VS RENDIMIENTO



EXPERIMENTO 7

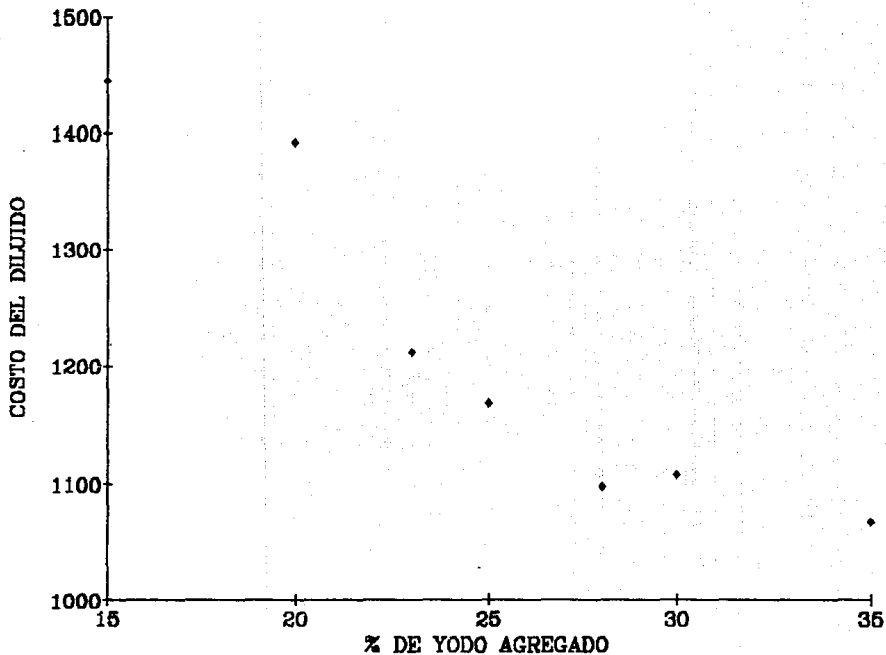
% YODO AGREGADO VS COSTO CONCENTRADO



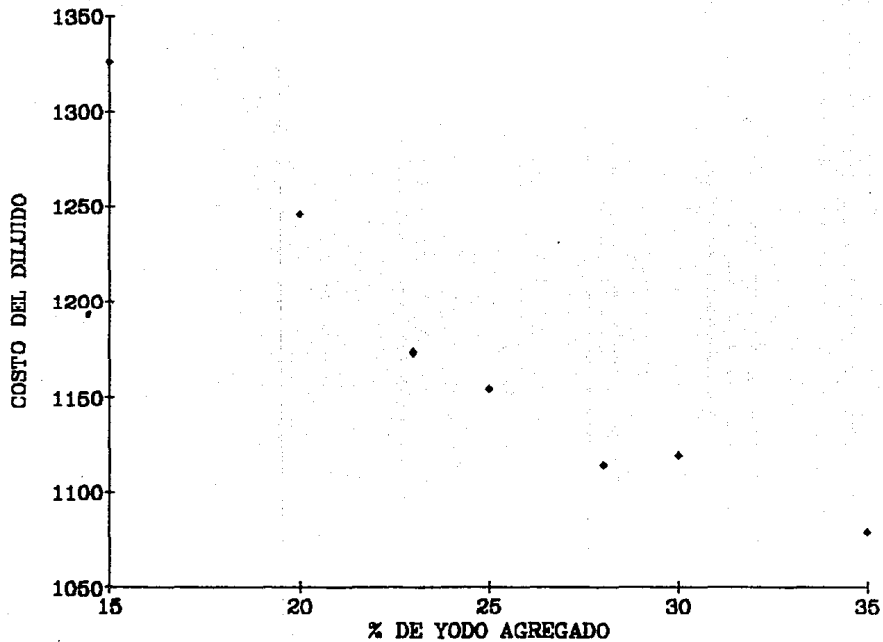
% DE YODO AGREGADO VS. COSTO DE PRODUCTO FINAL

EXPERIMENTO	% YODO	DÍA			
		1	10	20	30
6 A	15	1,294.5	1,374.6	1,430.6	1,446.6
6 B	20	1,129.0	1,221.3	1,258.5	1,393.0
6 C	23	1,035.4	1,148.0	1,187.3	1,213.2
6 D	25	1,073.5	1,138.7	1,157.6	1,169.5
6 E	28	967.9	1,098.9	1,118.0	1,099.9
6 F	30	988.3	1,066.9	1,115.1	1,108.1
6 G	35	933.9	1,130.6	1,071.5	1,067.0
7 A	15	1,185.9	1,286.6	1,319.3	1,328.2
7 B	20	1,099.5	1,204.9	1,193.7	1,246.3
7 C	23	1,058.1	1,130.6	1,160.3	1,174.5
7 D	25	1,031.3	1,104.3	1,134.4	1,155.3
7 E	28	998.4	1,098.2	1,098.2	1,115.7
7 F	30	993.4	1,065.3	1,084.9	1,120.2
7 G	35	959.9	1,028.2	1,048.6	1,080.6

EXPERIMENTO 6
% DE YODO AGREGADO VS COSTO DEL DILUIDO



EXPERIMENTO 7
% DE YODO AGREGADO VS COSTO DEL DILUIDO



RESULTADOS DE PRUEBAS DE ESTABILIDAD FISICA

ESCALA DE ESTABILIDAD

- 0 no hay separacion
- 1 separacion ligera
- 2 separacion regular
- 3 separacion excesiva

EXPERIMENTO 6

PRUEBA	6 AH	6 BH	6 CH	6 DH	6 EH	6 FH	6 GH
1	2	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3	3
3	2	3	3	3	3	3	3

EXPERIMENTO 7

PRUEBA	7 AH	7 BH	7 CH	7 DH	7 EH	7 FH	7 GH
1	1	1	2	2	3	3	3
2	1	1	2	2	3	3	3
3	1	1	2	2	3	3	3

CONCLUSIONES

De la serie de experimentos 6, 7 y 8 realizada se concluye :

1) Al aumentar la concentración de yodo metálico en la elaboración del producto concentrado se incrementa el costo en forma directa, pero la cantidad requerida para la elaboración del producto final disminuye, con lo cual se tiene una disminución considerable en el costo, obteniendo menor costo en el producto final a mayor concentración del yodóforo concentrado. Lo cual se aprecia en la gráfica de % de yodo agregado vs. costo de concentrado y la gráfica de % de yodo agregado vs. costo del producto final. La diferencia en el costo es de 245 pesos por cada kilo (18.5%), tomando en cuenta el experimento 7A y 7B a los 30 días.

Lo anterior indica que si se sigue aumentando el % de yodo en la formulación se obtendría un producto muy económico sin embargo existen ciertos factores que deben tomarse en cuenta para elegir la concentración de yodo que deberá emplearse.

-- Tiempo de agitación: El tiempo de agitación está ligado directamente a la concentración de yodo metálico. Esto conduce a que se requiere mayor tiempo de agitación para elaborar un producto con 35 % de yodo metálico.

--Determinación del contenido de yodo: Se puede apreciar en los resultados que los experimentos realizados con alta concentración de yodo (más de 28 %) presentan problemas en la valoración, tanto en el concentrado como en el producto final, teniendo variaciones con el paso del tiempo. Este problema ocasiona que no se tenga un control sobre la concentración de los productos, y por esta razón no se logre una estandarización, importante para la venta de este producto.

--Estabilidad física: Este es un factor muy importante que debe tomarse en cuenta para la elaboración de los yodóforos, ya que está relacionado directamente con la calidad del producto. Los resultados indican que un aumento en la concentración favorece notoriamente la separación de fases en el producto final, esto se debe a un aumento en la densidad del yodóforo concentrado al aumentar la proporción de yodo metálico, esto ocasiona que el tensactivo ya no tenga la misma capacidad de incorporar el agua dejando un producto homogéneo. Se observa un mayor efecto a partir de los productos elaborados con más de 25 % de yodo metálico.

Desde el punto de vista de la relación costo/calidad de nuestro producto, se puede tomar un intervalo de concentración de yodo que puede considerarse como el óptimo y que va desde 25 - 28 %. Porque la calidad obtenida en los productos de mayor concentración (serie F y G) que resultan ser los más económicos, no es aceptable. Los productos, con menos de 25 % de yodo resultan más caros.

También, puede considerarse que la variación en el precio del producto final de 25 - 35 % de yodo agregado no es mucho, en cambio la calidad obtenida es mucho mejor con menor % de yodo. Concentraciones de más de 35 % de yodo metálico no son posibles, ya que el tensactivo tiene un límite en cuanto a capacidad de disolución se refiere, por esto si se agregan mayores proporciones, el tensactivo se satura y deja yodo metálico precipitado, esto se traduce en pérdidas económicas que repercuten en el costo del producto final.

2) La estabilidad obtenida en el experimento 6 fue muy deficiente, ya que presentan separación desde la serie A (15 % de yodo), lo cual no se presenta en el experimento 7, en donde, la separación mas notoria se da hasta la serie F (30 % de yodo). Debido a que solo se emplea un tensoactivo en el experimento 6 no hay forma de modificar el balance del HLB. También el experimento 8 presenta una separación, pero de insolubilidad de yodo metálico y por mas agitacion que se le dio no hubo ningún cambio, además los tensoactivos de tipo polipropileno-óxidos son dos veces más costosos que los nonil fenol etoxilados.

3) Todos los yodóforos presentan aproximadamente la misma relación de degradación como se puede observar en la gráfica de tiempo vs. concentración de yodo, esto indica que no hay una variación importante en el rendimiento del producto al variar el % de yodo agregado.

Este comportamiento de degradación que es tan similar en todos los yodóforos diluidos y concentrados, facilita los cálculos para que el producto final cumpla con una especificación desde el primer día de elaboración y tenga una vida de anaquel mucho mayor. Por otro lado también el rendimiento final de los yodóforos concentrados es muy similar obteniendo un promedio de 73.3 %.

Se observó también que las pérdidas económicas que se tienen por degradación a los 30 días son aproximadamente del 10 % para todos los experimentos tomando como base el costo del producto final al primer día de elaboración (es decir, que si el costo del producto recién preparado se le aumenta el 10 % en el costo se obtiene el costo real del producto).

De las conclusiones anteriores se propone lo siguiente para continuar con la fase experimental:

- Eliminación de las fórmulas 6 y 8.
- Se toman como materias primas de fabricación la mezcla de nonil-fenol etoxilado de 4 y 15 moles.
- La concentración de yodo metálico que se va a manejar será de 25 y 28 %, realizando el siguiente experimento con ambas concentraciones, si es posible estabilizar el producto final empleando el 28% de yodo metálico, esta quedará como fórmula definitiva, ya que el costo que se obtiene con esta fórmula es el más bajo posible dentro del intervalo que se ha elegido. En caso de que no se establezca con ninguna de las concentraciones anteriores, se bajara la concentración de yodo metálico hasta obtener la concentración para la cuál el producto final ya no sufre separación.

INFLUENCIA DE LA PROPORCION DE LOS TENSOACTIVOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL COMPLEJO.

OBJETIVO: Obtener la proporción adecuada de la mezcla de tensoactivos para mejorar la estabilidad física del producto sin alterar significativamente el rendimiento, costo del producto final y solubilidad en agua.

TENSOACTIVOS: Nonil-fenol etoxilado con 15 moles
Nonil-fenol etoxilado con 4 moles

METODOLOGIA: A partir de los parámetros determinados en los experimentos anteriores:

Temperatura = 60 - 65 °C

Cantidad de yodo metálico = 25, 28 g

Se realizan los siguientes experimentos:

FORMULACIONES

Compuesto	Experimento			
	9 A	9 B	9 C	9 D
Yodo metálico	25	25	25	25
Ac. fosforico	1	1	1	1
N - F 15	70.9	62.9	44.4	33.3
N - F 4	3.7	11.1	29.6	40.7

	10 A	10 B	10 C	10 D
Yodo metálico	28	28	28	28
Ac. fosfórico	1	1	1	1
N - F 15	57.4	60.3	42.6	31.9
N - F 4	3.6	10.7	28.4	39.1

1) Preparar la mezcla de tensoactivos correspondiente a cada experimento, se ajusta la temperatura entre 60 y 65°C y se agrega la proporción de ácido fosfórico.

2) Se agrega completa la proporción de yodo metálico, determinando el tiempo en el cual alcanza la disolución total.

3) Se continúa agitando por un periodo correspondiente a la mitad del tiempo que tardó en disolverse.

4) Al finalizar la agitación se valorará el porcentaje de yodo libre, dicho concentrado se valorará cada 5 días durante un periodo de 30 días.

5) Con el mismo concentrado a partir del primer día se preparan los yodóforos H valorando estos durante 10 días cada uno.

Nota: La concentración del yodóforo H en la valoración deberá ser de 1.74 a 1.78 % de yodo libre, anotando la cantidad de yodóforo concentrado para la obtención de dicho porcentaje, en caso de no obtener dicho porcentaje, repetir.

Pruebas de estabilidad física (separación de fases)

- 1) Del yodóforo H recién preparado se toma una muestra y se deja reposar durante 30 días.
- 2) Del yodóforo H recién preparado se toma una muestra y se somete a temperatura de 40°C durante 2 hrs.
- 3) Someter el producto recién preparado a centrifuga en un tubo de ensayo.

RESULTADOS:

EXPERIMENTO 9 A

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	22.42
10	23.01
15	22.96

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	9 AH1	9 AH2	9 AH3	9 AH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	21.76	1.78				8.08
2		1.67				
3		1.64				
4		1.58				
5	20.78	1.57				
6		1.47				
7		1.64				
8		1.63				
9		1.53				
10	20.26	1.63	1.77			8.77
11			1.74			
12			1.70			
13			1.66			
14			1.65			
15	20.19		1.64			
16			1.62			
17			1.62			
18			1.60			
19			1.62			
20	19.72		1.62	1.76		8.92
21				1.73		
22				1.71		
23				1.68		
24				1.69		
25	19.69			1.69		
26				1.62		
27				1.69		
28				1.67		
29				1.68		
30	19.68			1.64	1.75	8.94

EXPERIMENTO 9 B

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	21.06
10	22.23
15	22.33
23	21.94

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	9 BH1	9 BH2	9 BH3	9 BH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	20.97	1.78				8.39
2		1.75				
3		1.74				
4		1.71				
5	19.78	1.69				
6		1.72				
7		1.69				
8		1.71				
9		1.71				
10	20.9	1.71	1.74			8.42
11			1.69			
12			1.66			
13			1.68			
14			1.63			
15	19.06		1.65			
16			1.70			
17			1.61			
18			1.61			
19			1.59			
20	19.20		1.60	1.76		9.16
21				1.73		
22				1.54		
23				1.54		
24				1.53		
25	18.68			1.56		
26				1.54		
27				1.55		
28				1.57		
29				1.59		
30	18.66			1.55	1.78	9.33

EXPERIMENTO 9 C

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	20.32
10	22.05
15	21.93
20	21.87

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	9 CH1	9 CH2	9 CH3	9 CH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	20.98	1.76				8.38
2		1.75				
3		1.69				
4		1.72				
5	19.33	1.69				
6		1.71				
7		1.71				
8		1.70				
9		1.66				
10	19.07	1.67	1.77			9.22
11			1.76			
12			1.75			
13			1.78			
14			1.74			
15	18.84		1.73			
16			1.72			
17			1.72			
18			1.72			
19			1.73			
20	18.72		1.67	1.78		9.40
21				1.80		
22				1.77		
23				1.78		
24				1.76		
25	18.42			1.75		
26				1.75		
27				1.79		
28				1.80		
29				1.80		
30	18.11			1.73	1.76	9.71

EXPERIMENTO 9 D

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

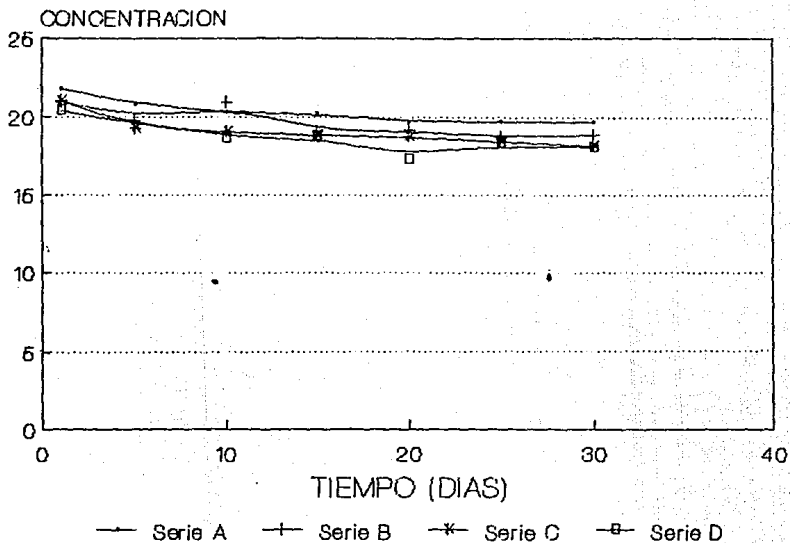
5	21.14
10	22.09
15	21.73

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	g DH1	g DH2	g DH3	g DH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	20.35	1.78				8.64
2		1.61				
3		1.60				
4		1.60				
5		1.60				
6		1.60				
7		1.60				
8		1.50				
9		1.51				
10	18.61	1.53	1.78			9.45
11			1.75			
12			1.70			
13			1.70			
14			1.70			
15	18.82		1.71			
16			1.71			
17			1.70			
18			1.72			
19			1.70			
20	17.27		1.72	1.75		10.19
21				1.61		
22				1.57		
23				1.59		
24				1.62		
25	18.26			1.67		
26				1.51		
27				1.73		
28				1.67		
29				1.70		
30	17.99			1.67	1.76	9.78

EXPERIMENTO 9

TIEMPO VS CONCENTRACION DE YODO



HLB: A(14.69) B(14.08) C(12.55) D(11.69)

EXPERIMENTO 10 A

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	23.13
10	25.39
15	24.29

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	10 AH1	10 AH2	10 AH3	10 AH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	23.60	1.70				7.45
2		1.64				
3		1.61				
4		1.59				
5	22.09	1.58				
6		1.50				
7		1.51				
8		1.54				
9		1.54				
10	21.52	1.53	1.77			8.17
11			1.63			
12			1.60			
13			1.58			
14			1.58			
15	21.03		1.57			
16			1.55			
17			1.57			
18			1.57			
19			1.57			
20	21.16		1.58	1.77		8.31
21				1.65		
22				1.65		
23				1.66		
24				1.62		
25	20.65			1.65		
26				1.67		
27				1.62		
28				1.62		
29				1.61		
30	20.89			1.62	1.78	8.42

EXPERIMENTO 10 B

TIEMPO (min)

CONCENTRACION C% de yodo libre)

5	24.17
10	25.20
15	24.52

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	10 BH1	10 BH2	10 BH3	10 BH4	Cantidad Conc.
			(porcentajes)			
1	23.57	1.77				7.48
2		1.74				
3		1.72				
4		1.68				
5	21.99	1.66				
6		1.65				
7		1.67				
8		1.66				
9		1.64				
10	21.52	1.61	1.77			8.17
11			1.74			
12			1.75			
13			1.75			
14			1.75			
15	20.97		1.74			
16			1.75			
17			1.74			
18			1.76			
19			1.74			
20	21.17		1.73	1.78		8.31
21				1.77		
22				1.76		
23				1.77		
24				1.75		
25	20.81			1.77		
26				1.78		
27				1.77		
28				1.78		
29				1.77		
30	20.57			1.76	1.76	8.55

EXPERIMENTO 10 C

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

5	24.39
10	24.85
15	24.32

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	10 CH1	10 CH2	10 CH3	10 CH4	Cantidad conc.
			(porcentajes)			
1	23.42	1.75				7.51
2		1.85				
3		1.67				
4		1.88				
5	21.38	1.87				
6		1.85				
7		1.70				
8		1.84				
9		1.85				
10	21.32	1.80	1.75			8.25
11			1.67			
12			1.68			
13			1.65			
14			1.63			
15	20.10		1.63			
16			1.67			
17			1.67			
18			1.68			
19			1.63			
20	20.88		1.58	1.74		8.42
21				1.64		
22				1.50		
23				1.51		
24				1.51		
25	20.14			1.53		
26				1.62		
27				1.53		
28				1.54		
29				1.55		
30	19.89			1.52	1.77	8.93

EXPERIMENTO 10 D

TIEMPO (min)

CONCENTRACION (% de yodo libre)

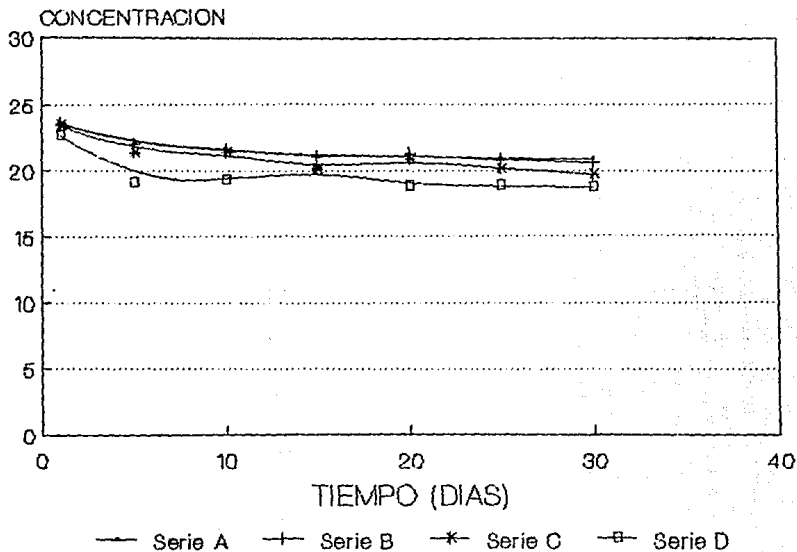
5	24.21
10	24.41
15	23.93

Estabilidad de los yodóforos

TIEMPO (días)	CONC.	10 DH1	10 DH2	10 DH3	10 DH4	Cantidad conc.
			(porcentajes)			
1	22.71	1.69				7.74
2		1.54				
3		1.54				
4		1.63				
5	19.08	1.50				
6		1.43				
7		1.58				
8		1.53				
9		1.53				
10	19.29	1.55	1.78			9.12
11			1.84			
12			1.81			
13			1.81			
14			1.87			
15	20.01		1.71			
16			1.73			
17			1.62			
18			1.62			
19			1.61			
20	18.82		1.80	1.76		9.35
21				1.49		
22				1.47		
23				1.48		
24				1.53		
25	18.88			1.53		
26				1.54		
27				1.56		
28				1.60		
29				1.56		
30	18.73			1.54	1.74	9.39

EXPERIMENTO 10

TIEMPO VS CONCENTRACION DE YODO



HLB: A(14.68) B(14.08) C(12.55) D(11.63)

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ESTABILIDAD FISICA

ESCALA DE ESTABILIDAD

0 NO HAY SEPARACION

1 SEPARACION LIGERA

2 SEPARACION REGULAR

3 SEPARACION EXCESIVA

EXPERIMENTO 9

PRUEBA	9 AH1	9 AH4	9 BH1	9 BH4	9 CH1	9 CH4	9 DH1	9 DH4
1	3	3	2	2	2	2	3	3
2	3	3	2	3	3	3	3	3
3	3	3	2	2	2	2	3	3
SUMA	9	9	6	7	7	7	9	9

EXPERIMENTO 10

PRUEBA	10AH1	10AH4	10BH1	10BH4	10CH1	10CH4	10DH1	10DH4
1	3	3	2	2	2	3	3	3
2	3	3	2	3	3	3	3	3
3	3	3	2	2	2	2	3	3
SUMA	9	9	6	7	7	8	9	9

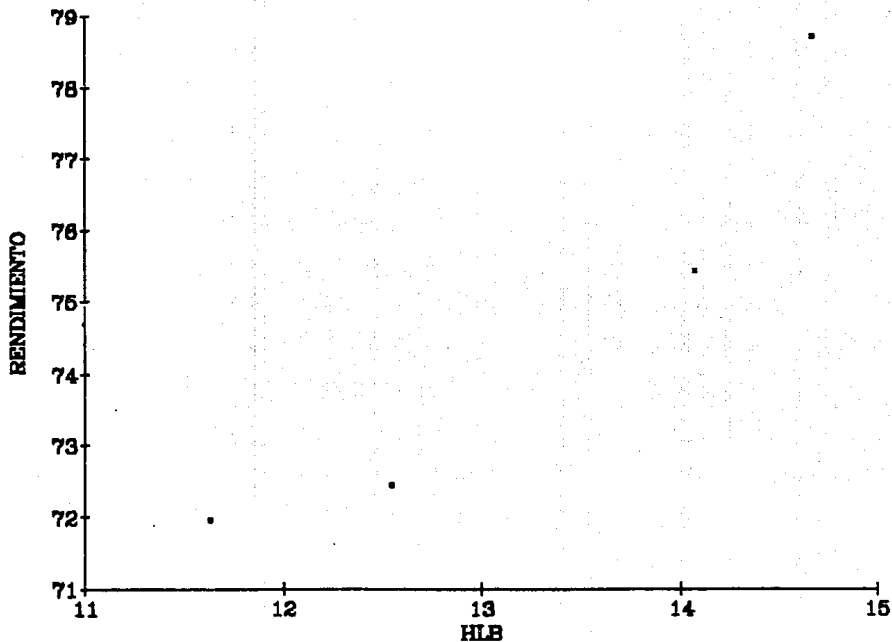
EXPERIMENTO 9 (25% DE YODO METALICO)

EXP.	HLB	RENDIMIENTO FINAL	% YODO LIBRE MAX 30 DIAS		COSTO	GRADO DE SEPARACION
9A	14.69	78.72	21.7	19.6	\$ 11,424	9
9B	14.08	75.44	21.0	18.9	\$ 11,538	7
9C	12.55	72.44	21.0	18.1	\$ 11,824	7
9D	11.63	71.96	20.4	18.0	\$ 11,995	9

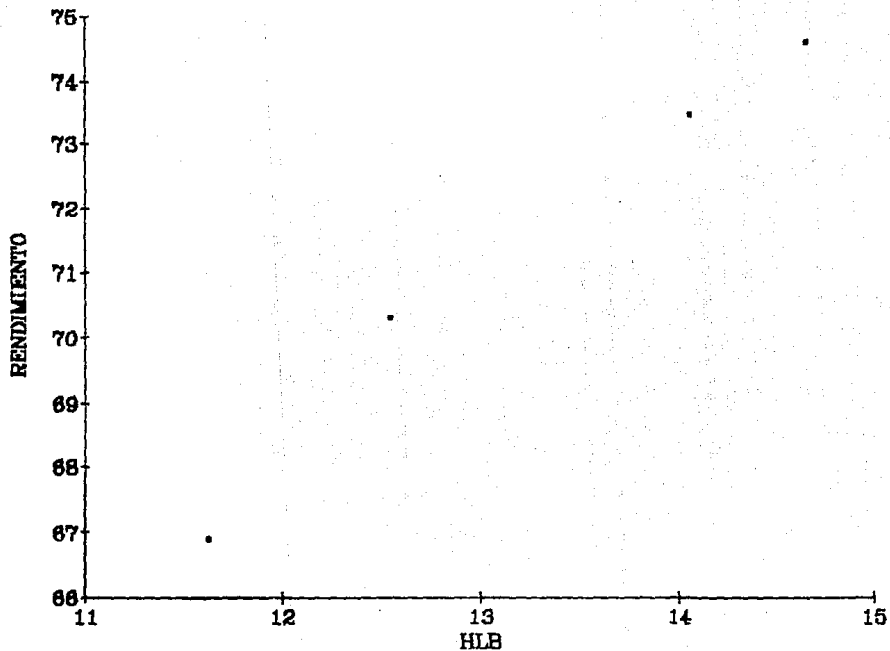
EXPERIMENTO 10 (28% DE YODO METALICO)

EXP.	HLB	RENDIMIENTO FINAL	% YODO LIBRE MAX 30 DIAS		COSTO	GRADO DE SEPARACION
10A	14.69	74.61	23.8	20.9	\$ 12,328	9
10B	14.08	73.48	25.6	20.8	\$ 12,438	7
10C	12.55	70.32	23.4	19.7	\$ 12,710	8
10D	11.63	68.89	22.7	18.7	\$ 12,874	9

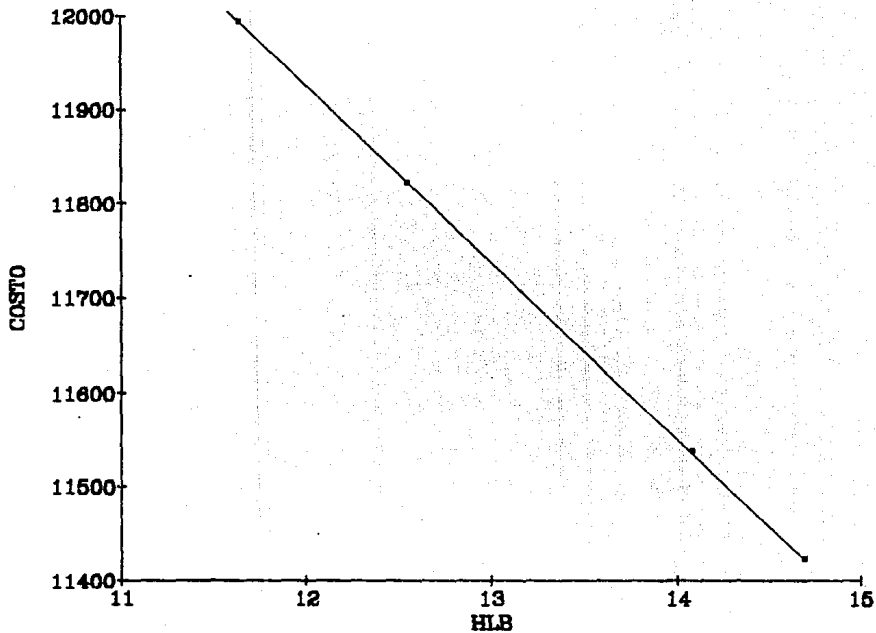
EXPERIMENTO 9
HLB VS RENDIMIENTO



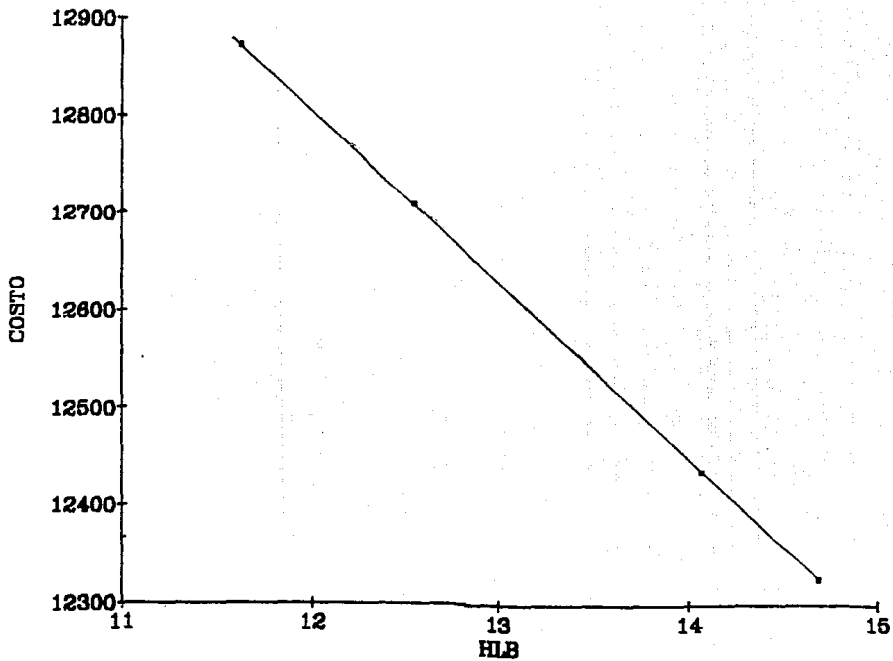
EXPERIMENTO 10
HLB VS RENDIMIENTO



EXPERIMENTO 9
HLB VS COSTO DE CONCENTRADO

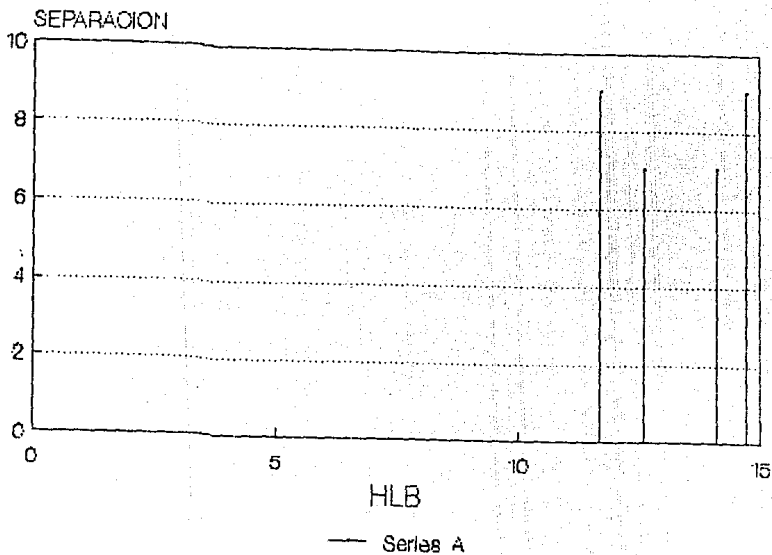


EXPERIMENTO 10
HLB Y COSTO



EXPERIMENTO 9

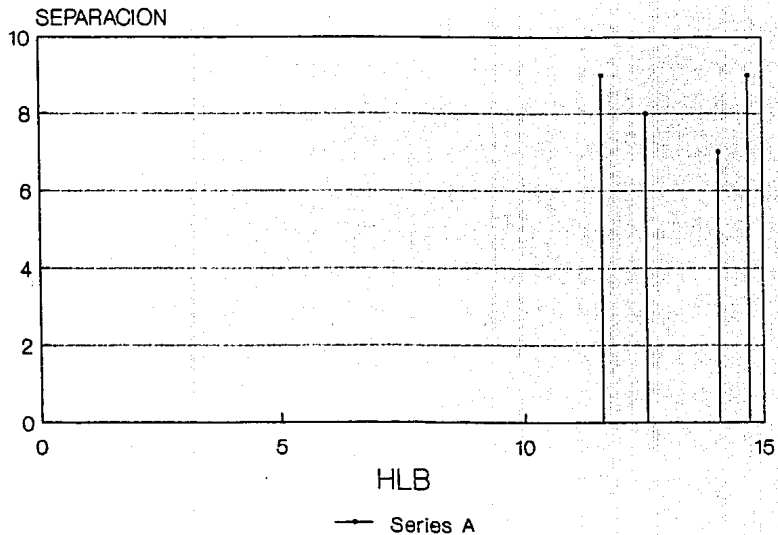
HLB VS GRADO DE SEPARACION



0-NO HAY SEPARACION 9-MAXIMA SEPARACION

EXPERIMENTO 10

HLB VS GRADO DE SEPARACION



0=NO HAY SEPARACION 9=MAXIMA SEPARACION

CONCLUSIONES:

1) En las gráficas de HLB contra rendimiento final se puede observar como el rendimiento varía en forma proporcional al HLB, en ambos experimentos. Si hacemos la comparación contra los experimentos 6 y 7 podemos observar que tanto en el rendimiento final como en la degradación, no existe una diferencia significativa.

2) Por otro lado si observamos las gráficas de HLB contra costo del concentrado podemos concluir que al disminuir el HLB el costo del producto final se incrementa.

3) Los resultados de las pruebas de separación muestran que existe un rango dentro del cual los yodóforos tienden a estabilizarse físicamente sin llegar a obtener el 100 % de homogeneidad. La separación se presentó en forma diferente de acuerdo al HLB; en el rango arriba de 14.1 el producto obtenido presenta una viscosidad similar a la del agua, translucido y con una separación en forma de película de yodo insoluble en el fondo; en el rango por debajo de 12.55 la separación es total, dejando una fase acuosa en la parte superior y una fase de yodo viscosa pero que no tiene un asentamiento muy pronunciado, es decir que no forma una película compacta como en el caso anterior. Esto nos conduce a tener que desarrollar otros experimentos ampliando el rango sobre el cual se presentó la menor separación (rango: 12.55-14.10). Dicho experimento incluirá el uso de diversas clases de agentes tensoactivos con los cuales se pueda cubrir el rango de HLB elegido como el más apropiado para la fabricación de los yodóforos.

Se determino con anterioridad en los experimentos 6 y 7 un factor de degradación que contempla las pérdidas de yodo sufridas con el paso del tiempo dando un rendimiento de yodo aproximadamente constante, este valor coincide con los valores obtenidos en los experimentos 9 B, 9 C, 10 B y 10 C, de esta manera podemos considerar que el factor de degradación obtenido es aplicable al rango de HLB que se ha elegido. En los siguientes experimentos se estandariza la cantidad de yodo agregado a un 25% ya que como se observó en experimentos anteriores al aumentar dicho porcentaje se presenta mayor problema de separación. El objetivo de los siguientes experimentos unicamente será encontrar la mezcla de tensoactivos que dé el producto más estable. En caso de que no se pueda lograr la estabilidad del producto se tendrá que empezar a bajar la cantidad de yodo metálico, lo menos posible, para poder obtener el costo más bajo de producto final.

Los experimentos con los que se continuará tratando de encontrar la mayor estabilidad del producto con diferentes proporciones de tensoactivos serán los siguientes:

Constantes:

% de yodo metálico: 25

% de ácido fosfórico: 1

FORMULAS:

EXPERIMENTO	NONIL-FENOL 15	NONIL-FENOL 4	HLB
11A	60.70	13.90	13.9
11B	55.00	18.14	13.6
11C	53.44	20.55	13.3
11D	49.82	24.18	13.0

EXPERIMENTO	NONIL-FENOL 10	NONIL-FENOL 6	HLB
12A	73.08	0.90	13.3
12B	63.91	10.10	13.0
12C	57.79	16.21	12.8
12D	51.68	22.32	12.6

EXPERIMENTO	NONIL-FENOL 15	NONIL-FENOL 6	HLB
13A	54.10	19.90	13.9
13B	48.70	25.30	13.6
13C	43.25	30.75	13.3
13D	37.81	36.19	13.0

EXPERIMENTO	NONIL-FENOL 15	NONIL-FENOL 10	HLB
14A	34.12	39.88	14.1
14B	20.80	53.20	13.8
14C	11.97	62.03	13.6
14D	5.18	68.82	13.4

EXPERIMENTO	NONIL-FENOL 10	NONIL-FENOL 4	HLB
15A	70.17	3.83	13.1
15B	66.85	7.15	12.9
15C	63.52	10.48	12.7
15D	60.20	13.80	12.5

La evaluación de la estabilidad será en base al criterio tomado en los experimentos anteriores.

RESULTADOS:

PRUEBA	11 A	11 B	11 C	11 D
1	0	0	0	1
2	0	0	0	3
3	2	0	0	1
SUMA	2	0	0	5

PRUEBA	12 A	12 B	12 C	12 D
1	1	1	1	1
2	0	3	3	3
3	1	1	1	1
SUMA	2	5	5	5

PRUEBA	13 A	13 B	13 C	13 D
1	1	0	0	1
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
SUMA	1	0	0	1

PRUEBA	14 A	14 B	14 C	14 D
1	1	1	0	0
2	0	0	0	0
3	0	1	0	0
SUMA	1	2	0	0

PRUEBA	15 A	15 B	15 C	15 D
1	0	0	0	1
2	0	0	3	3
3	0	0	0	0
SUMA	0	0	3	4

Como se puede observar en las tablas quedan varios productos sin sufrir ninguna separación en cada serie, excepto en la serie 12 que queda eliminada porque en todos se presentó separación.

Para poder hacer una selección de los experimentos que no presentaron separación alguna. Se realizaron otras pruebas sometiénolos a mayores temperaturas para propiciar la separación y así se determino el que mayor resistencia tuvo a la separación.

También podemos observar que los experimentos que mejores resultados dieron se encuentran dentro de un rango de HLB de 13.3 a 13.8 independientemente del tipo de tensoactivo que se use.

Prueba de estabilidad con mayores temperaturas.

Se someten los yodóforos diluidos que no presentaron separación durante una hora a 40° C , una hora a 50 ° C , y así sucesivamente cada hora se aumentarán 10° C hasta lograr la separación de todos, anotando el tiempo que tardó cada uno en separarse.

RESULTADOS.

EXPERIMENTO	40°C	50°C	60°C	70°C	tiempo de resistencia a la separación
11 B	O.K.	O.K.	55°C	--	2:05 horas
11 C	O.K.	42°C	---	--	1:35 horas
13 B	O.K.	O.K.	58°C	--	2:10 horas
13 C	O.K.	42°C	--	---	1:17 horas
14 C	O.K.	O.K.	57°C	--	2:05 horas
14 D	O.K.	O.K.	O.K.	65°C	3:10 horas
15 A	O.K.	42°C	--	--	1:10 horas
15 B	O.K.	42°C	--	--	1:02 horas

Conclusiones:

De acuerdo con los resultados obtenidos en este experimento de resistencia a la separación se propone el uso de la siguiente mezcla de tensoactivos para la elaboración del yodóforo concentrado:

COMPUESTO	% EN PESO
YODO METALICO	25.0
NONIL FENOL ETOXILADO (15 MOLES)	5.2
NONIL FENOL ETOXILADO (10 MOLES)	68.8
ACIDO FOSFORICO AL 85%	1.0

El costo del yodóforo concentrado por kilo es de:

COMPUESTO	DINERO (PESOS)
YODO METALICO	8,502.00
NONIL-FENOL 15 MOLES	200.00
NONIL-FENOL 10 MOLES	3,095.00
ACIDO FOSFORICO AL 85%	10.00
	<hr/>
	11,807.00

INFLUENCIA DEL pH (CANTIDAD DE ACIDO FOSFORICO) EN EL PRODUCTO FINAL.

OBJETIVO: Obtener la proporción adecuada del ácido fosfórico para observar como afecta la estabilidad física y el pH del producto final.

En base a la fórmula del yodóforo concentrado obtenida en los experimentos anteriores se realizará la siguiente serie de diluidos :

FORMULA DEL CONCENTRADO:

COMPUESTO	% EN PESO
YODO METALICO	25.0
NONIL FENOL ETOXILADO 15 MOLES	5.2
NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES	89.8
ACIDO FOSFORICO	1.0

YODOFOROS DILUIDOS:

EXPERIMENTO	% EN PESO		
	YODO CONCENTRADO	AGUA	ACIDO FOSFORICO
18 A	9.55	90.45	0
18 B	9.55	89.45	1
18 C	9.55	88.95	3.5
18 D	9.55	85.45	5.0
18 E	9.55	81.45	9.0

METODOLOGIA

- Se agrega la mezcla de tensoactivos a 65°C y con agitación constante se adiciona la proporción de ácido fosfórico correspondiente.
- Se agrega completa la cantidad de yodo metálico y se continúa con agitación.
- Se determina el tiempo en donde alcanza la disolución completa y se continúa agitando 50% más del tiempo que tardó en disolverse.
- Con los experimentos recién preparados se elaboran los productos comerciales con las diferentes proporciones de ácido fosfórico.
- A los yodóforos diluidos se les determina el pH directamente y se preparan solución a 20, 50 y 100 ppm de yodo libre y también se les determina el pH.

PRUEBAS DE ESTABILIDAD FISICA

- 1) Del yodóforo diluido recién preparado se toma una muestra y se deja reposando durante 15 días en un tubo de ensayo.
- 2) Del yodóforo diluido recién preparado se toma una muestra y se somete a temperatura de 40°C durante 2 horas.
- 3) Someter el producto recién preparado a centrifugación.

RESULTADOS:

EXP.	% A. FOSFORICO. % EN PESO	pH PROD. FINAL	pH SOLUCIONES		
			20 ppm	50ppm	100ppm
16 A	0.0	2.70	4.68	4.40	4.12
16 B	1.0	2.44	4.22	3.90	3.56
16 C	3.5	2.06	3.60	3.52	3.30
16 D	5.0	1.74	3.64	3.33	3.05
16 E	9.0	1.41	3.44	3.12	2.89

RESULTADOS DE PRUEBAS DE ESTABILIDAD:

PRUEBA	16 A	16 B	16 C	16 D	16 E
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	2
3	0	0	0	1	1
SUMA	0	0	0	2	4

Analizando los resultados obtenidos podemos observar que los yodóforos 16 C al 16 E dan un pH en solución que se encuentra dentro del rango de operación óptima, es decir, entre 2 y 4. Los yodóforos elaborados con menor cantidad de ácido fosfórico están muy cercanos a dicho intervalo.

Por otra parte los resultados obtenidos en las pruebas de separación muestran que al aumentar la cantidad de ácido fosfórico en el producto final trae como consecuencia una mayor separación del producto. Se observa un incremento marcado en el grado de separación a partir del experimento 16 D.

Tomando en cuenta ambos factores (pH obtenido y grado de separación) se propone el uso del 3,5 % de ácido fosfórico en la formulación del producto final, siendo este porcentaje el que presenta un mejor balance de acuerdo a los parámetros medidos, ya que no presenta separación y también tiene el pH óptimo (En ese pH hay mayor presencia de la especie de yodo libre).

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE AGITACION EN EL RENDIMIENTO Y DEGRADACION DEL YODOFORO CONCENTRADO

OBJETIVO: Determinar el tiempo en el cual se logra obtener la maxima degradacion en el menor tiempo posible, con el fin de obtener un producto estable.

En los experimentos anteriores se agito hasta obtener la disolucion completa del yodo mas la mitad del tiempo que tardó en disolverse. Esto se hizo con el fin de tener las mismas condiciones en todos los experimentos.

Tiempo de disolucion del yodoforo a 25% de yodo es igual a 13 minutos aproximadamente, por lo tanto se agitaron 20 minutos, obteniendose el siguiente comportamiento:

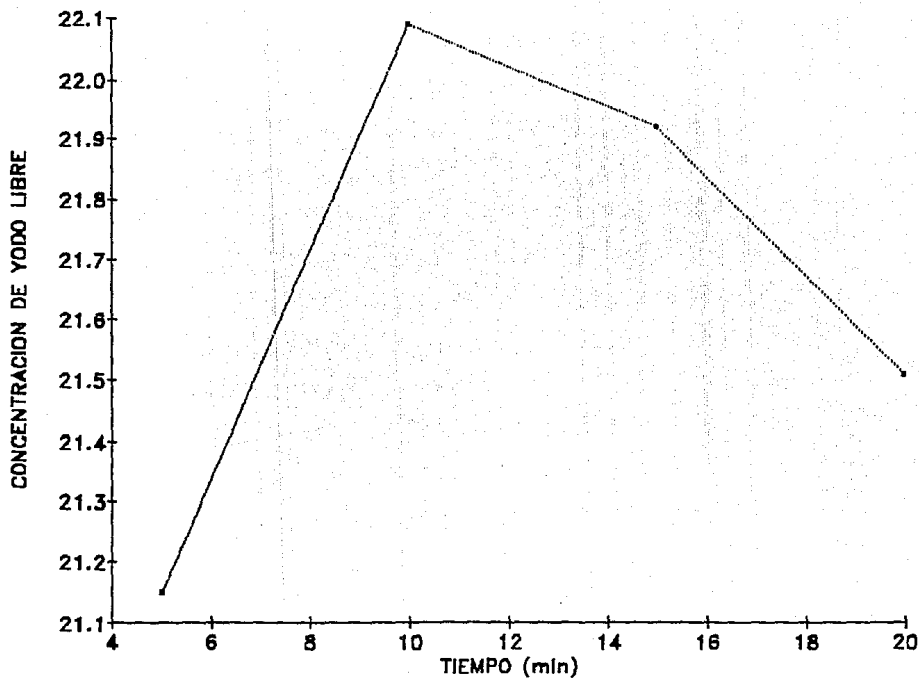
ver graficas 1) tiempo de elaboracion vs % de yodo.

2) tiempo de degradacion vs % de yodo.

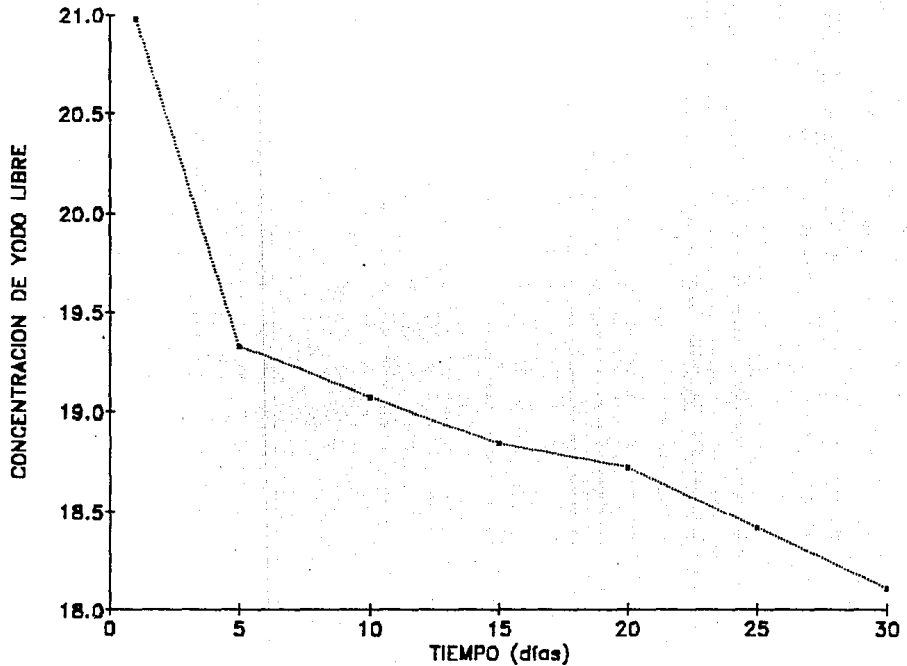
El comportamiento general de la mayoría de los yodóforos fue como este dando un 83.3 % promedio de rendimiento inicial y un 73.3 % de rendimiento a los 30 días, habiendo una degradación del inicio a los 30 días del 10%, manteniendose mas estable despues de este tiempo.

Lo que tratamos de encontrar con mas agitacion es llegar a obtener el 73.3 % de rendimiento en el menor tiempo, obteniendo desde el inicio un producto mas estable ante la degradacion.

GRAFICA 1
TIEMPO DE ELABORACION DEL YODOFORO



GRAFICA 2
DEGRADACION DE YODO VS TIEMPO



Simultáneamente en este experimento de agitación se puede determinar el coeficiente de distribución (índice del grado de acomplejamiento); que como dice la teoría debe ser mayor a 150 y esta relacionado directamente con la estabilidad del producto y por lo tanto con la estandarización del mismo.

METODOLOGIA

FORMULA:

YODO METALICO	25.0 %
NONIL-FENOL DE 15 MOLES	5.2 %
NONIL-FENOL DE 10 MOLES	68.8 %
ACIDO FOSFORICO AL 85%	1.0 %

- Se agrega la mezcla de tensoactivos a 65 °C y con agitación constante se adiciona la proporción de ácido fosforico correspondiente.

- Se agrega la cantidad completa de yodo metálico y se continua con agitación.

EXPERIMENTO	TIEMPO DE AGITACION	INSTRUCCIONES
17 A	20 MIN.	Titulacion cada 5 minutos
17 B	10 HORAS	1 ^{era} 1/2 hr titulacion C/5 min. 2 ^a 1/2 hr titulacion C/10 min. siguientes 9 hrs. C/30 minutos
17 C	*	

* El tiempo de agitación del experimento 17 C dependerá de los resultados de la gráfica del experimento 17 B, obteniendo la máxima degradación en el menor tiempo posible (tiempo óptimo de agitación).

- Una vez terminados los concentrados el mismo día se elaboran los diluidos a 1.75 % de yodo libre quedando el 17 AH, 17 BH, y 17 CH.

- Los yodoferos diluidos serán titulados diariamente durante 30 días y los concentrados se titularán cada 5 días durante 30 días.

- Graficar los resultados obtenidos.

PRUEBA DEL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION.

- Con cada uno de los yodoferos concentrados de los experimentos 17 se elabora un diluido al 1.75% de yodo libre y se calcula el coeficiente de distribución con la técnica descrita en la teoría.

RESULTADOS

EXPERIMENTO 17 A (tiempo de elaboracion 20 min)

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	20.89
10	22.15
15	21.74
20	21.31

RENDIMIENTO : 85.24 %

EXPERIMENTO 17 B (tiempo de elaboracion 10 hrs)

TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	21.15
10	22.09
15	21.92
20	21.91
25	21.47
30	21.27
40	20.90
50	20.82
60	20.40
90	19.92
120	19.65
150	19.49
180	19.36
210	18.44
240	18.44
270	18.42
300	18.16
330	18.01
360	17.97
390	17.99
420	17.97
450	17.75
480	17.73
510	17.53
540	17.52
570	17.36
600	17.26

RENDIMIENTO : 69.04 %

EXPERIMENTO 17 C (tiempo de elaboración 4.5 hrs)

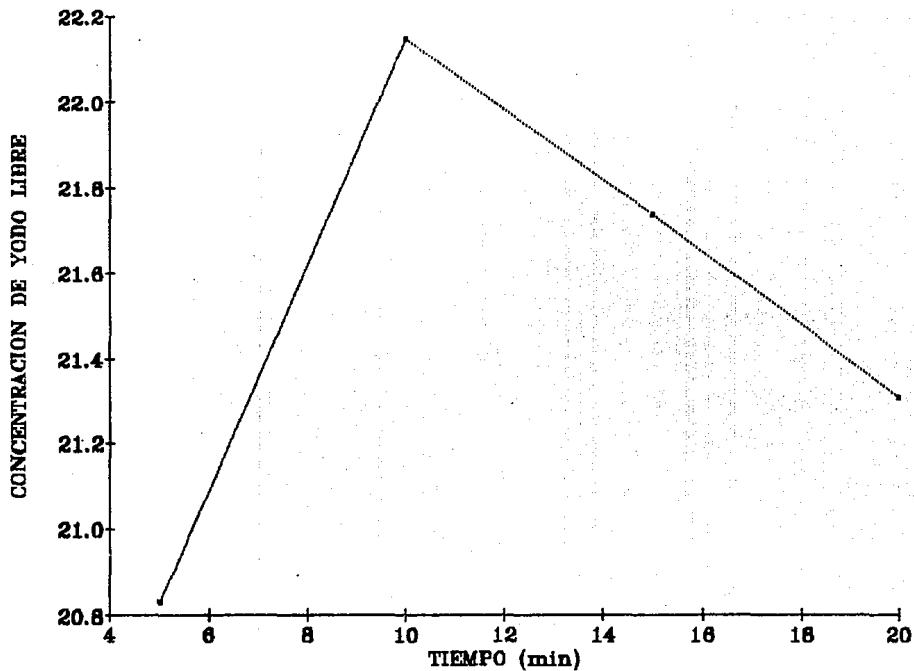
TIEMPO (min)	CONCENTRACION (% de yodo libre)
5	20.95
10	22.00
15	21.75
20	21.49
40	21.28
60	20.85
80	20.30
100	20.03
120	19.84
140	19.58
160	19.39
180	19.19
200	18.94
220	18.94
240	18.70
280	18.59
280	18.39

RENDIMIENTO : 73.58 %

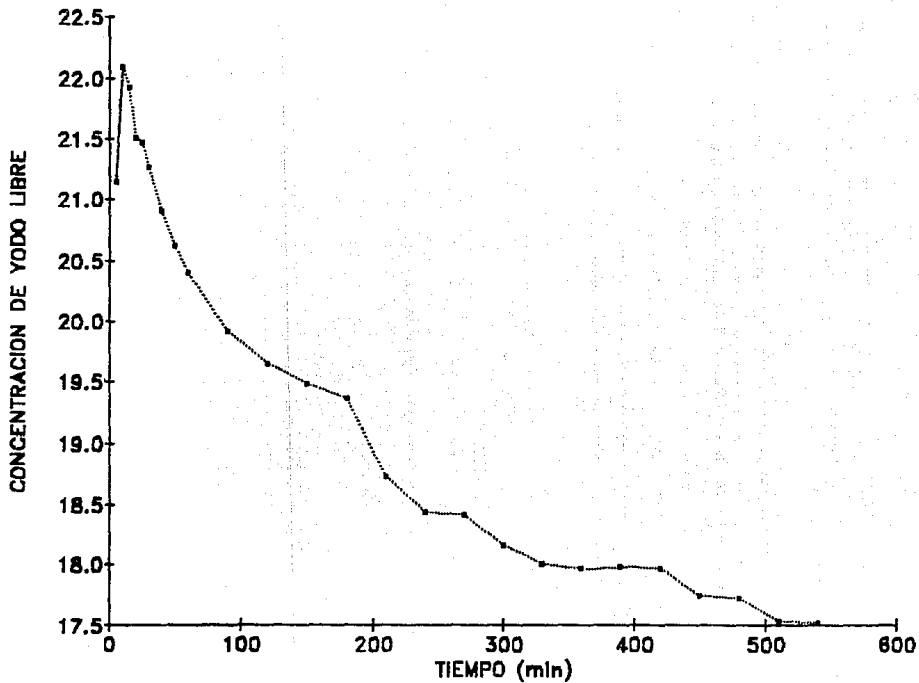
% DE YODOFORO AGREGADO PARA OBTENER 1.75 % DE YODO LIBRE EN EL PRODUCTO FINAL:

EXPERIMENTO	RENDIMIENTO AL DIA SIGUIENTE	CANTIDAD
17 A	82.48 %	8.48 %
17 B	68.80 %	10.17 %
17 C	71.18 %	9.83 %

EXPERIMENTO 17 A
TIEMPO DE AGITACION VS CONCENTRACION



EXPERIMENTO 17 B
TIEMPO DE AGITACION VS CONCENTRACION



EXPERIMENTO 17 C
TIEMPO DE AGITACION VS CONCENTRACION

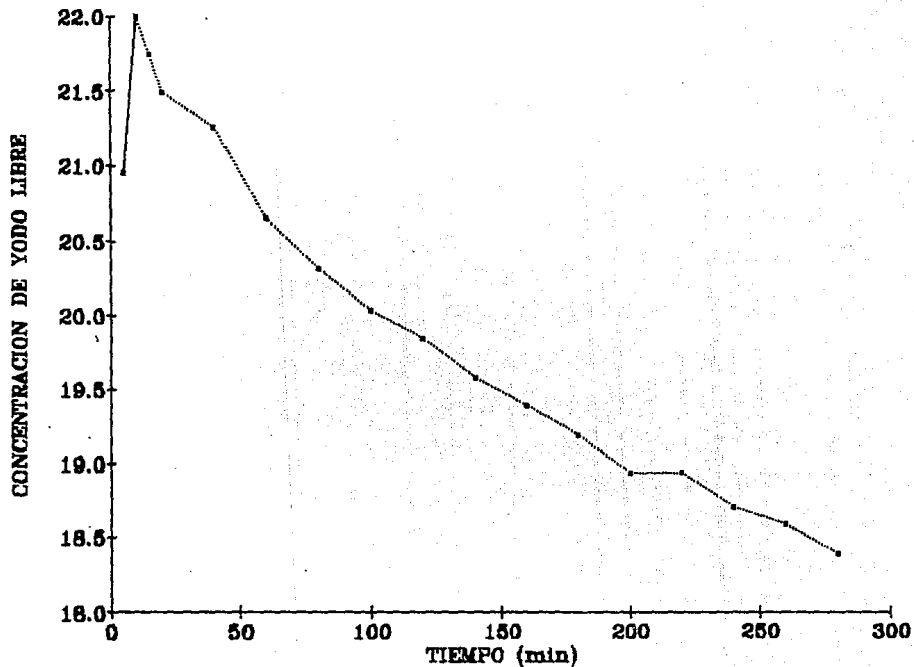
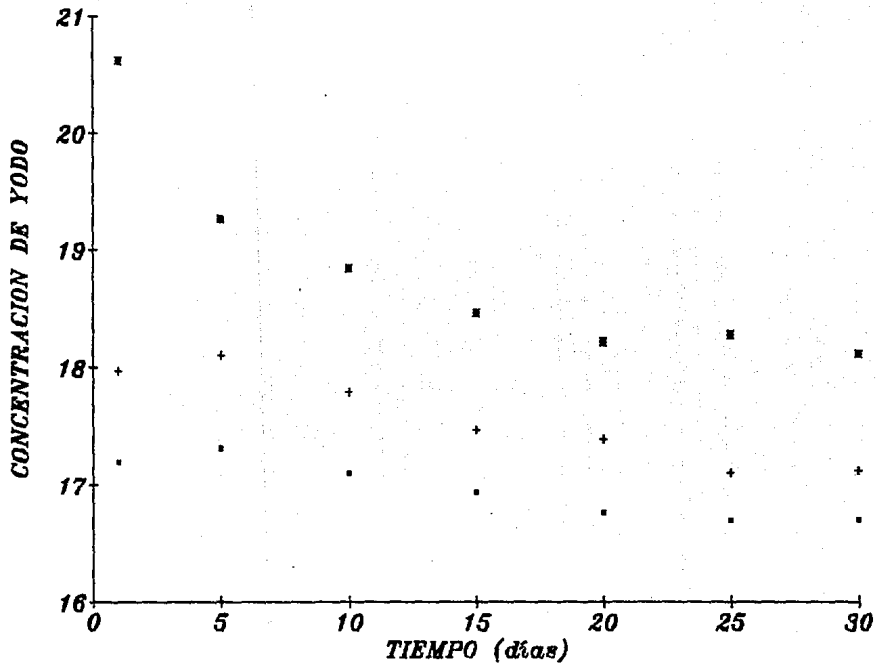


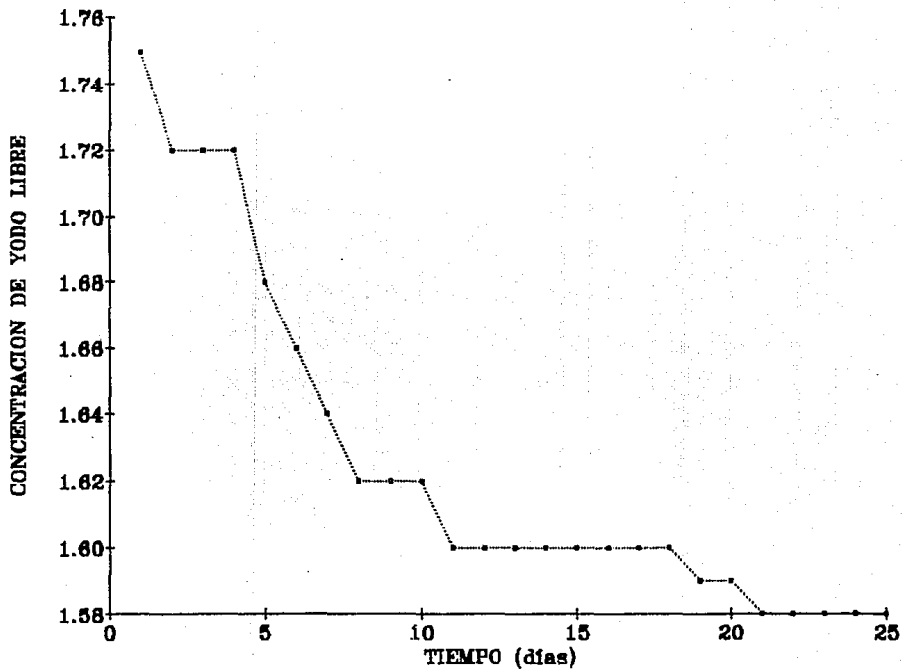
TABLA DE DEGRADACION.

TIEMPO (días)	CONCENTRACION (% DE YODO LIBRE)					
	17A	17AH	17B	17BH	17C	17CH
1	20.62	1.75	17.20	1.75	17.79	1.76
2		1.72		1.75		1.76
3		1.72		1.74		1.75
4		1.72		1.74		1.75
5	19.27	1.68	17.32	1.74	18.10	1.75
6		1.66		1.74		1.75
7		1.64		1.74		1.75
8		1.62		1.73		1.73
9		1.62		1.73		1.72
10	18.85	1.62	17.10	1.73	17.79	1.71
11		1.60		1.73		1.71
12		1.60		1.73		1.71
13		1.60		1.73		1.71
14		1.60		1.73		1.71
15	18.46	1.60	16.94	1.73	17.47	1.71
16		1.60		1.72		1.70
17		1.60		1.71		1.69
18		1.60		1.70		1.69
19		1.59		1.70		1.69
20	18.22	1.59	16.77	1.70	17.40	1.69
21		1.58		1.70		1.69
22		1.58		1.70		1.69
23		1.58		1.69		1.69
24		1.58		1.69		1.69
25	18.17	1.58	16.70	1.69	17.10	1.69
26		1.58		1.69		1.69
27		1.58		1.69		1.68
28		1.55		1.69		1.68
29		1.55		1.69		1.68
30	18.12	1.55	16.70	1.69	17.12	1.68
31		1.55		1.69		1.68
32		1.55		1.69		1.68
% degradación		11.43		3.97		4.55

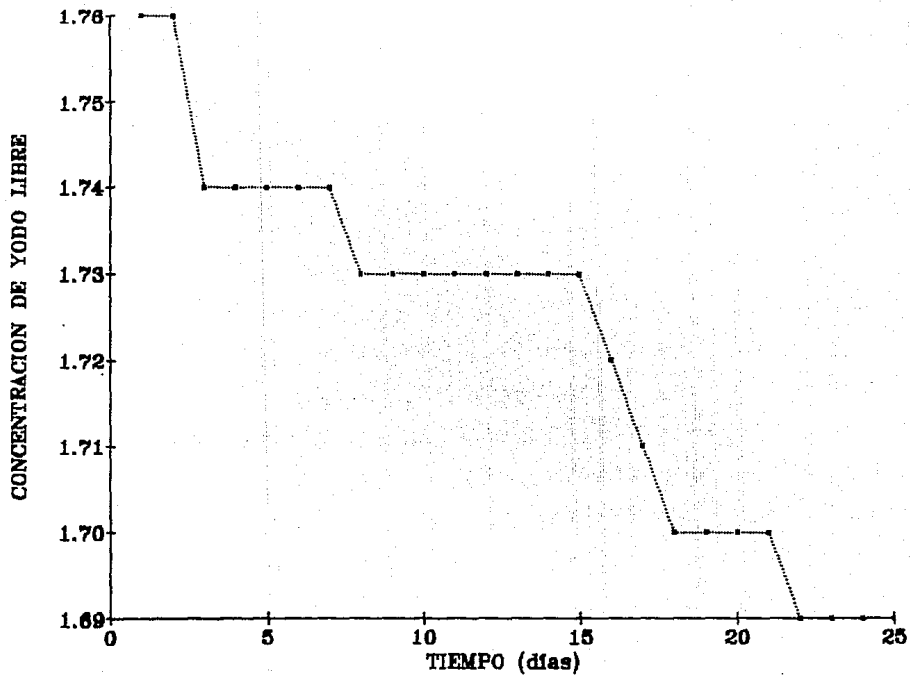
EXPERIMENTO 17
DEGRADACION DEL CONCENTRADO



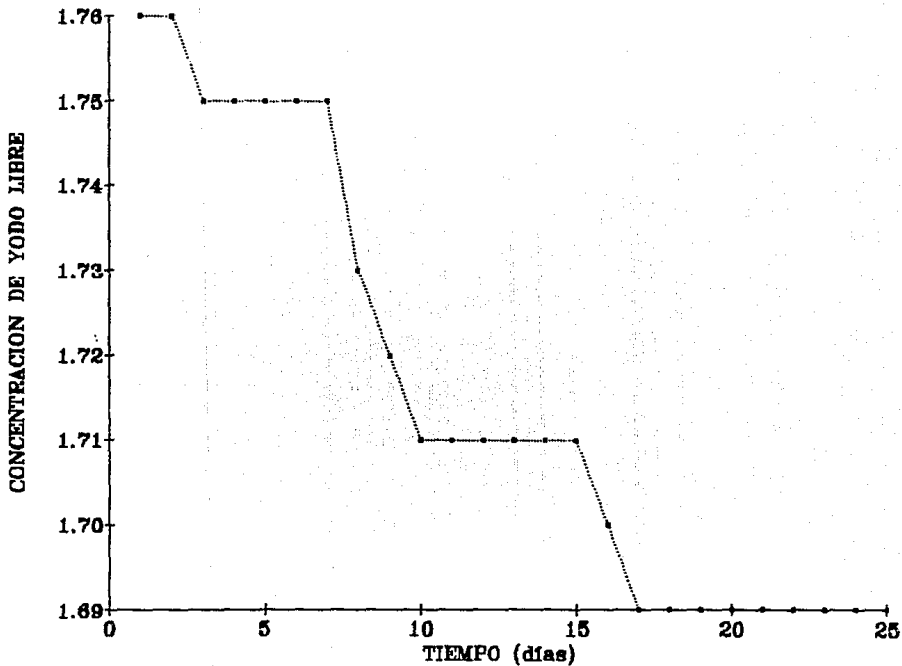
EXPERIMENTO 17 AH
TIEMPO VS DEGRADACION DE PRODUCTO FINAL



EXPERIMENTO 17 BH
TIEMPO VS DEGRADACION DE PRODUCTO FINAL



EXPERIMENTO 17 CH
TIEMPO VS DEGRADACION DE PRODUCTO FINAL



Para poder obtener un producto que cumpla con la calidad requerida en el mercado, es necesario adicionar una cantidad de yodo concentrado de acuerdo con la degradación que presenta cada producto con diferente tiempo de agitación, esto trae como consecuencia un incremento en el costo de producto final, que se presenta en la siguiente tabla (únicamente se toma en cuenta el costo que representa el yodóforo concentrado):

TABLA DE COSTOS

EXPERIMENTO No.	% R E Q U E R I D O		C O S T O	
	INICIAL	+ DEGRADACION	INICIAL	+ DEGRADACION
17 A	8.48	9.45	1,001	1,116 (115)
17 B	10.17	10.57	1,201	1,248 (47 \$)
17 C	9.83	10.27	1,181	1,213 (52 \$)

RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION.

EXPERIMENTO	CONCENTRACION % YODO LIBRE	% DE TRANSMITANCIA 520 nm.	mg I ₂ /100 ml	C. D.
17 AH	1.7508	8.0	30.0	33.33
17 BH	1.7444	10.5	28.5	40.86
17 CH	1.7447	11.5	25.5	43.46

CONCLUSIONES:

- 1) El tiempo de agitación tiene un efecto sobre la estabilidad del producto final, mejorando la calidad del producto al disminuir el porcentaje de degradación. Entre mayor sea la agitación existe menor degradación, según se observa en la tabla de degradación.
- 2) El porcentaje de degradación puede considerarse el mismo para los experimentos 17 B y 17 C ya que la variación que se presenta no es significativa, esto quiere decir que el tiempo de agitación que se requiere para obtener un producto de mayor estabilidad no debe ser excesivo.
- 3) Se obtuvo el porcentaje de degradación deseado (73.3) con 4.5 hrs. de agitación.
- 4) El incremento del costo para obtener un producto de calidad estándar es de 47 pesos (3.76 %).
- 5) El coeficiente de distribución no es una prueba representativa del grado de complejación, ya que el producto 17 BH da un resultado de C.D. muy bajo y el producto es muy estable (ya no se degrada). Además los valores obtenidos son muy similares con el 17 AH (se degrada).

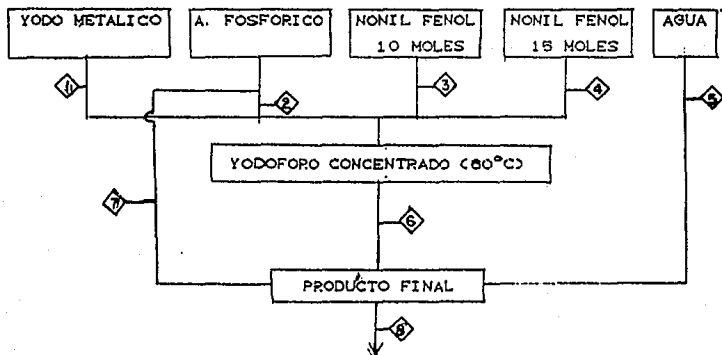
El producto se elaborará con 4.5 hrs de agitación ya que aun cuando se obtiene una diferencia de costo de un producto a otro, la estabilidad que se logra con mayor tiempo de agitación permite obtener un producto que no presentará cambios notorios o caídas en la concentración de yodo libre. Esto es importante, ya que la cantidad de producto que se usará para la desinfección será la estrictamente necesaria para una aplicación en particular, sin exceder los límites de yodo permitidos, ni lograr una desinfección deficiente por falta de concentración de producto.

CAPITULO 000 DISEÑO DEL EQUIPO

Este capítulo tiene por objeto el cálculo y dimensionamiento del equipo de proceso para la manufactura del yoduro, en base a las condiciones y requerimientos establecidos durante la fase experimental.

Otro factor que se considera en esta etapa es la demanda que existe en el mercado para este producto que es de 20,000 Kg/mes.

El proceso completo para la fabricación del yoduro es el siguiente:



Las fórmulas para la elaboración del producto son:

1) YODOFORO CONCENTRADO:

COMPUESTO	% EN PESO
YODO METALICO	25.0
NONIL FENOL ETOXILADO 10 MOLES	68.8
NONIL FENOL ETOXILADO 15 MOLES	5.2
ACIDO FOSFORICO AL 85%	1.0

Condiciones de elaboración:

Inicialmente se mezclan los tensoactivos y se calienta a temperatura de 65°C. una vez estabilizada la temperatura se adiciona el ácido fosfórico.

Cuando se obtiene la homogenización de la mezcla se adiciona el yodo metálico y se agita por espacio de 4.5 horas hasta obtener por titulación 73 % de yodo libre.

2) PRODUCTO FINAL

COMPUESTO	% EN PESO
YODOFORO CONCENTRADO	10.0
ACIDO FOSFORICO AL 85 %	3.5
AGUA	86.5

Condiciones de elaboración:

Se mezclan agua y ácido fosfórico, se adiciona el yodóforo concentrado y se agita hasta homogenización de la mezcla. Para comprobar que el producto está homogéneo se muestrea por la parte superior e inferior del tanque y se titulan. Si el valor de las pruebas coincide, se suspende la agitación, en caso contrario se continúa con la agitación hasta lograr esta condición.

BALANCE DE MATERIA.

Para el cálculo del balance de materia es necesario determinar el volumen de producción que se desea alcanzar. Se ha estimado que el consumo actual promedio por mes de este producto asciende a 20 ton.

$$B A S E = 20,000 \text{ Kg}$$

Las cantidades requeridas de compuestos para la elaboración de 20,000 Kg. son las siguientes de acuerdo con las fórmulas obtenidas:

YODOFORO CONCENTRADO	$20,000 \times (10/100) =$	2,000 Kg
A. FOSFORICO AL 85 %	$20,000 \times (3.5/100) =$	700 Kg
AGUA	$20,000 \times (86.5/100) =$	17,300 Kg

Para elaborar 2,000 Kg de yodóforo concentrado se requieren las siguientes cantidades de materias primas:

YODO METALICO	$2,000 \times (25/100) =$	500 Kg
NONIL FENOL 10 MOLES	$2,000 \times (68.8/100) =$	1,376 Kg
NONIL FENOL 15 MOLES	$2,000 \times (5.2/100) =$	104 Kg
ACIDO FOSFORICO AL 85 %	$2,000 \times (1/100) =$	20 Kg.

De acuerdo con el diagrama del proceso, el cuadro del balance de materia es el siguiente:

		L I N E A (masa Kg)							
COMPUESTO	1	2	3	4	5	6	7	8	
YODO METALICO	500					500		500	
ACIDO FOSFORICO N - F 10 MOLES		20				20	700	720	
ACIDO FOSFORICO N - F 15 MOLES			1376			1376		1376	
AGUA				104		104		104	
T O T A L	500	20	1376	104	17300	2000	700	20000	
DENSIDAD	4.94	1.7	1.06	1.08	1.0	1.20	1.7	1.12	
VOLUMEN	101.2	11.8	1298	96.3	17300	1666	411	17857	

BALANCE DE ENERGIA

Para el balance de energía se calcula el requerimiento de calor en la elaboración del concentrado, las condiciones son:

Masa = 2000 Kg.

Temperatura de agitación = 60 - 65 °C

Tiempo de agitación aproximado = 4 hrs.

Medio de calentamiento = agua a 70°C.

Calculo del calor sensible para alcanzar la temperatura deseada de 65°C.

Calor sensible: $dQ = m C_p dT$

Para calcular el calor sensible de la mezcla de reactivos se tomará como promedio de

$T_1 = 20^\circ\text{C}$

$T_2 = 65^\circ\text{C}$

$m = 2000 \text{ Kg}$

Tabla de C_p :

Yodo metálico = 0.053 cal/g °C

Acido fosfórico = 0.542 cal/g °C

Nonil-fenol 10 moles = 0.6 cal/g °C

Nonil-fenol 15 moles = 0.605 cal/g °C

C_p promedio = 0.4629 cal /g °C

Debido a que los cambios que se producen no son muy fuertes puede considerarse que el cambio en el valor del C_p no es significativo.

Como el $C_p =$ constante

$$\Delta Q = m C_p \Delta T$$

$$= (2000 \text{ Kg}) (462.9 \text{ cal/Kg } ^\circ\text{C}) (65 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$= 41,581,000 \text{ cal}$$

$$\Delta Q = 165,310.8 \text{ BTU}$$

Para poder determinar las dimensiones del tanque agitador es necesario obtener el tamaño óptimo de lote para su fabricación.

El cálculo del lote óptimo de fabricación se obtiene de acuerdo a los cargos que representan el inventario y la fabricación del producto.

Los datos que se requieren para el cálculo se obtienen de la siguiente manera:

1) Requerimiento anual:

Las ventas actuales promedio son: 20,000 Kg mensuales, es decir, 240,000 kg por año.

2) Costo de materias primas:

De acuerdo con la fórmula obtenida en la fase experimental el costo por Kg de producto final es de 1,255.7 pesos.

3) Costos por inventario

Los factores que se toman en cuenta para determinar los cargos por este concepto son:

Inversión (Interés del capital invertido)	17.0
Impuestos sobre activos fijos	2.0
* Seguros	0.5
Almacén	0.5
Mantenimiento	0.25
Manejo	2.0
Costo administrativo	3.0
** Deterioro ó mermas	2.5
Reparaciones	1.0

CARGOS POR INVENTARIO = 28.75 %

*La tarifa del seguro depende de los riesgos del producto y materias primas, del manejo, de la zona, de las medidas de seguridad. Todo esto es determinado por un peritaje.

**Las mermas pueden llegar a ser consideradas por el manejo de porrones que se rompen en ocasiones derramandose producto.

4) Cargos de fabricación por lote:

a) mano de obra: (1 Obrero)	Operación:	Tiempo
	Carga del producto	2 horas
	Agitación/Supervisión	5 horas
	Descarga del producto	2 horas

Considerando el salario de un obrero con todas las prestaciones (seguro social, infonavit, etc.) 16,000 por día.

Si la jornada de trabajo es de 8 horas, el costo por hora es de 1875 pesos.

Por lo tanto el costo por mano de obra de un obrero es de:

16,875 pesos por lote

(Laboratorista) Se requieren aproximadamente de 5 titulaciones para llevar un control del proceso de elaboración. Cada titulación toma aproximadamente 20 minutos. Por lo tanto el tiempo requerido es de 1.5 horas.

Si se considera el salario de un analista capacitado de 1,950,000 pesos, (incluyendo prestaciones) que equivale a 11,079.5 pesos por hora. El costo por laboratorista será de:

16,619 pesos por lote

EL COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA Y SUPERVISION ES DE: 33,494 pesos

b) Depreciación del equipo:

El valor aproximado del equipo: 35,000,000. de pesos

Si consideramos una depreciación anual real del 20 % (incluyendo mantenimiento):

$35,000,000. \times 0.2 = 7,000,000$ al año

Tomando 280 días hábiles por año y que se puede hacer 1 lote por día (6 - 8 hrs por lote):

$7,000,000 / 280 = 26,923$ pesos / lote

DEPRECIACION DE EQUIPO = 26,923 pesos por lote.

c) Servicio:

Motor aproximado de 3 hp. trabajando durante 4.5 hrs consume 2.237 Kwatts por hora lo que da un consumo de 10.067 Kwatts.

Si el costo del Kwatt es de 200 pesos se obtiene un consumo de 2,013.3 pesos por concepto de energía eléctrica.

Se ha estimado de acuerdo con el balance de energía que se requieren 165,310 BTU/hr. para alcanzar la temperatura necesaria para el proceso.

$$165,310.8 \text{ BTU/hr} / (1.1 \times 1.32 \times 25,565) = 4.453 \text{ lts. de gas.}$$

1.1 factor por uso de gas L.P.

1.32 factor de eficiencia en la cd. de México.

$$25,565 \text{ BTU/hr.lit.}$$

Si se va a calentar por espacio de 4 hrs, se requerirán 17.81 lts de gas L.P. que da un costo de 4,506 pesos si consideramos un costo por litro de gas de 253 pesos.

COSTO DE ENERGIA POR LOTE: 6,519 pesos por lote

EL COSTO DE FABRICACION POR LOTE SERA :	a)	33,404.
	b)	26,923.
	c)	6,519.

TOTAL 66,936 PESOS / LOTE

RESUMEN:

REQUERIMIENTO ANUAL :	240,000 KG / AÑO
COSTO DE MATERIAS PRIMAS :	1,256 PESOS / KG
COSTOS POR INVENTARIO :	28.75 %
COSTOS DE FABRICACION POR LOTE :	63,974 PESOS / LOTE

TABLA DE LOTE OPTIMO

NUMERO DE LOTE POR AÑO	1	4	8	16	24	32	40	48
NUM. DE UNIDADES POR LOTE	240,000.0	60,000.0	30,000.0	15,000.0	10,000.0	7,500.0	6,000.0	5,000.0
INVENTARIO PROMEDIO	120,000.0	30,000.0	15,000.0	7,500.0	5,000.0	3,750.0	3,000.0	2,500.0
INVERSION INV. PROMEDIO	150'720,000	37'680,000	18'840,000	9'420,000	6'280,000	4'710,000	3'768,000	3'144,000
COSTO POR INV. 28.75% AÑO	43'332,000	10'833,000	5'416,500	2'709,250	1'805,500	1'354,125	1'033,000	802,750
COSTO POR INV. POR PIEZA	180.55	45.14	22.56	11.26	7.52	5.64	4.51	3.76
COSTO DE PRODUCCION	63,974	255,896	511,792	1'023,584	1'535,376	2'047,168	2'558,960	3'070,752
COSTO DE PROD. POR KILO	0.2665	1.0666	2.13	4.26	6.40	8.53	10.66	12.79
COSTO TOTAL POR KILO	180.8	46.20	24.70	15.55	13.92	14.17	15.18	16.56

COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LA TABLA EL NUMERO DE LOTE OPTIMO ESTA ENTRE 16 Y 32 YA QUE 24 FUE EL COSTO MAS BAJO POR KG POR LO QUE SE AMPLIARA LA TABLA:

NUMERO DE LOTE POR AÑO	18	20	22	26	28	25
NUM. DE UNIDADES POR LOTE	13,333	12,000	10,909	9,230	8,571	9,600
INVENTARIO PROMEDIO	6,666	6,000	5,454	4,615	4,285	4,800
INVERSION INV. PROMEDIO	8'373,333	7'536,000	6'850,909	5'796,923	5'382,857	6'028,800
COSTO POR INV. 28.75% AÑO	2'407,333	2'166,600	1'969,633	1'666,615	1'547,571	1'733,280
COSTO POR INV. POR PIEZA	10.05	9.03	8.20	6.94	6.45	7.22
COSTO DE PRODUCCION	1'151,532	1'279,480	1'407,428	1'633,324	1'791,272	1'599,350
COSTO DE PROD. POR KILO	4.80	5.33	5.87	6.93	7.46	6.66
COSTO TOTAL POR KILO	14.83	14.35	14.07	13.87	13.92	13.88

COMO SE PUEDE APRECIAR EL COSTO MAS BAJO POR KILO ES CUANDO HACEMOS DE 24 A 28 LOTES POR AÑO SIENDO 26 EL OPTIMO.

DISEÑO DEL AGITADOR

De acuerdo con el número de lotes óptimo obtenido en la tabla anterior, podemos determinar que el tamaño de lote para la fabricación del yodóforo concentrado será de 1000 Kg. Esto equivale a fabricar 2 lotes por mes, cubriendo de esta manera la demanda del mercado.

Para poder seleccionar el equipo de fabricación, es necesario tomar en cuenta que el agitador empleado en el mezclado de los reactivos debe satisfacer algunas necesidades. Con el fin de mantener una dispersión total de las partículas de yodo metálico se requiere de una buena circulación del líquido desde el fondo del recipiente hacia la parte superior, ya que la diferencia de densidades del yodo metálico y el tensoactivo ocasiona una sedimentación muy rápida y la acumulación del sólido en el fondo, disminuyendo considerablemente la incorporación del yodo al seno del tensoactivo, esto puede traducirse en períodos más largos de agitación.

Los criterios que son aplicables para suspensión efectiva de los sólidos son circulación y velocidad del líquido, suficientes para vencer el grado de sedimentación. Los mismos criterios son aplicables para una buena transferencia de calor y reacción.

Con el objeto de mantener la máxima distribución de los sólidos en el tensoactivo, la relación diámetro del tanque : altura del líquido ideal en estos casos es de 1:1, ya que la distancia que recorre el sólido desde el fondo del tanque a la superficie es menor a diferencia de una mayor altura de líquido.

El tipo de impulsor más adecuado para nuestro diseño es la propela, porque reúne las siguientes características:

- a) Circula mediante flujo axial paralelo a la flecha y su patrón de flujo es modificado por deflectores.
- b) Operan sobre un amplio rango de velocidades.
- c) Acción de corte muy buena a alta velocidad, a diferencia de la turbina, que esta limitada a una máxima velocidad.
- d) La presencia de sólidos en nuestro sistema destruye fácilmente las turbinas, por la alta velocidad, mientras que las propelas no se destruyen fácilmente.
- e) Las propelas son económicas en potencia.
- f) Son de fácil limpieza.
- g) Costo moderado.

La mejor posición del impulsor es $1/6$ de la altura del líquido, esto es, muy cercano al fondo para que la descarga radial barra los sólidos del fondo. El diámetro del agitador será de $D_t/2.5$ y el ancho de las aspas de la propela será de $D_t/4$.

El patrón de circulación establecido es radial en el fondo y axial en los lados desde el fondo hacia arriba. Este patrón es asegurado por el uso de 4 deflectores verticales montados dentro del tanque, además el uso de baffles elimina el movimiento rotatorio y la formación de vórtice. Las dimensiones de estos deberán ser de $1/12$ del diámetro del tanque. Como en nuestro caso se tienen sólidos suspendidos, es necesario colocar los baffles separados de la pared

del tanque unos cuantos centímetros para prevenir la formación de incrustaciones. Los baffles no se extenderán desde el fondo del tanque, ya que un espacio libre en esta zona permite una alta acción de giro que segrega con mayor facilidad las partículas sólidas pesadas, de la misma manera, un espacio libre entre el baffle y el nivel del líquido ocasiona una acción de giro y formación de vórtice en la superficie, con esto se logrará que la espuma formada por el tensoactivo sea reincorporada mediante esta acción y el yodo no disuelto entrará al impulsor de manera mas rápida. Ambos espacios serán de $1/10$ del diámetro del tanque.

Para evitar la acumulación de sólidos en el fondo y una mejor circulación se usará un fondo de tanque curvo ó esférico, también este tipo de fondo requiere de menor caballaje para el sistema.

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE AGITADOR.

- Volumen del tanque = 1000 Kg / 1.26 (Kg/lit.) = 794 lits.

- Volumen del tanque = A x h

Si consideramos que la relación de diámetro del tanque : altura es de 1:1, tenemos que h = D_T.

$$\text{Area del tanque} = \frac{\pi D_T^2}{4}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi D_T^3}{4} \quad \text{entonces} \quad D_T^3 = \frac{4 (794)}{\pi}$$

$$D_T = (1010.95)^{0.333}$$

$$D_T = 10.03 \text{ dm.} = 100.3 \text{ cm}$$

$$\text{Por lo tanto } z = h + 20 \% = 100.3 \text{ cm} + 20 = 120 \text{ cm.}$$

$$\text{Diámetro del agitador } D_A = D_T / 2.5$$

$$D_A = 100 \text{ cm} / 2.5 = 40 \text{ cm.}$$

$$\text{Ancho del agitador } W = D_A / 4$$

$$W = 40 \text{ cm} / 4 = 10 \text{ cm.}$$

$$\text{Altura del agitador } H_A = h / 6$$

$$H_A = 100 \text{ cm} / 6 = 15.66 \text{ cm.}$$

$$\text{Deflectores - Ancho} = D_T / 12$$

$$= 100 \text{ cm} / 12 = 8.33 \text{ cm.}$$

La velocidad del agitador será de 650 rpm dandonos un No. de Reynolds turbulento.

$$Re = \frac{DA^2 \nu \rho}{\mu} = \frac{(40 \text{ cm})^2 (10.833 \text{ seg}^{-1}) (1.26 \text{ g/cm}^3)}{1.12 \text{ g/cm seg}}$$

$$Re = 19,500$$

Potencia del motor P.

$$P = \frac{Np \rho \nu^3 DA^5}{gc}$$

De la gráfica 19.13 del Manual del Ing. Químico (Ref. 16).
Con un $Re = 19,500$ y tomando en cuenta la configuración del agitador $Np = 0.15$

$$P = \frac{(0.15) (1.26 \times 62.4 \text{ lb/ft}^3) (10.833 \text{ seg}^{-1})^3 (1.32 \text{ ft})^5}{32.2 \text{ lb ft / lbr seg}^2}$$

$$P = (1885.97 \text{ lbr ft / seg}) / (550 \text{ Hp / lbr ft / seg})$$

$$P = 3.39 \text{ Hp} \approx 3.5 \text{ Hp.}$$

Capacidad de bombeo Q.

$$Q = Na \nu DA^3$$

$Na = 0.4$ para propelas y $Re > 10,000$.

$$Q = (0.4) (10.833 \text{ seg}^{-1}) (1.312 \text{ ft})^3$$

$$Q = 5.7 \text{ ft}^3/\text{seg} = 161.4 \text{ lts/seg.}$$

Columna de bombeo H

$$H = \frac{N_p N^2 D_A^2}{N_a g c}$$

$$H = \frac{(0.15) (10.833 \text{ seg}^{-1})^2 (1.312^3)}{0.4 (32.2 \text{ lb ft/lbf seg}^{-2})}$$

$$H = 2.352 \text{ ft} \times 0.3048 \text{ (m/ft)} = 0.72 \text{ m}$$

Para lograr la condición de calentamiento el tanque agitador estará provisto de una chaqueta, la cual tendrá un espacio de 1 pulgada (2.54 cm.) entre pared y pared.

El espesor de la pared del tanque agitador = 25/64 in. (9.92 mm) Igualmente para la pared de la chaqueta.

CALCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL TANQUE ENCHAQUETADO.

Para el cálculo es necesario establecer las condiciones para lograr satisfacer los requerimientos del proceso, dichas condiciones son:

Medio de calentamiento: agua

Temperatura de entrada del agua = 80°C .

Temperatura inicial del fluido frío = 20°C .

Temperatura requerida del fluido frío = $60 - 65^{\circ}\text{C}$.

Masa del fluido frío = 1000 Kg.

Diámetro exterior de la pared interior = 1.02 m.

Diámetro interior de la pared exterior = 1.07 m.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS:

PROPIEDAD	MEZCLA	AGUA
Conduc. termica $\text{BTU/hrft}^2(\text{C}^{\circ}\text{F/ft})$	0.11	0.358
viscosidad cp	112.0	1.0
viscosidad en la pared caliente cp	90.0	1.0
capacidad calorífica $\text{BTU/lb }^{\circ}\text{F}$	0.4629	1.0

SECUENCIA DEL CALCULO:

- 1) Se calcula el coeficiente interno de transferencia de calor.
- 2) Con el flujo de agua caliente calcular el coeficiente externo de transferencia de calor.
- 3) Con los dos coeficientes se calcula el coeficiente global de transferencia de calor U_c .
- 4) Determinar el tiempo en el cual se alcanza la temperatura de proceso.
- 5) Calcular la temperatura de salida de agua.

ECUACIONES:

$$1) \quad W_c (T_1 - T_2) = UA\Delta t$$

$$2) \quad \Delta t = \text{LMTD} = \frac{T_1 - T_2}{\ln [(T_1 - t)/(T_2 - t)]}$$

$$3) \quad T_2 = t + \frac{T_1 - t}{e^{\frac{UA}{W_c}}}$$

$$4) \quad \ln [(T_1 - t_1)/(T_1 - t_2)] = (W_c/M_c) ((K_1 - 1)/K_1) e$$

$$5) \quad K_1 = e^{\frac{UA}{W_c}}$$

$$6) \quad j = (hD/k) (C_{\mu}/k)^{-0.333} (C_{\mu}/\mu v)^{-0.14}$$

Cálculo del coeficiente interno h_i :

Con el Reynolds de 19,500 del fluido interno se entra a la grafica (20.2. Procesos de transferencia de calor) y se obtiene un valor de $J = 530$ por lo tanto tendríamos de la ecuación (8) lo siguiente:

$$530 = \frac{h_i (3.28) ((0.4629)(2.71)^{-0.393} (2.71/2.178)^{-0.14})}{0.11}$$

$$h_i = 41.25 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Cálculo del coeficiente externo h_o :

Para el cálculo del coeficiente externo es necesario determinar el diámetro equivalente en la siguiente forma:

$$D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} = \frac{(107)^2 - (102)^2}{102} = 10.41 \text{ cm} = 0.3415 \text{ ft}$$

Suponiendo un flujo de 3,543 lb/hr ft^2 da un Reynolds de:

$$Re = \frac{D_e G}{\mu} = \frac{(0.3415)(3,543)}{0.0242} = 50,000$$

Con el Reynolds de 50,000 del fluido externo se entra a la gráfica (24 procesos de transferencia de calor), y se obtiene un valor de $j_H = 145$ con el cuál obtendríamos un coeficiente externo de transferencia con la ecuación 6 en la siguiente forma:

$$145 = \frac{h_o(0.3415)}{0.356} (0.0242/0.356)^{-0.999}$$

$$h_o = 61.69 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Coficiente global de transferencia de calor:

Para el cálculo del coeficiente global es necesario referir el coeficiente interno a la pared externa del tanque:

$$h_{io} = 41.25 (102/107) = 39.29 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Ahora tendremos:

$$U_c = \frac{(h_{io})(h_o)}{h_{io} + h_o} = \frac{(39.29)(61.69)}{39.29 + 61.69} = 24 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{U_c} + R_d;$$

$$R_d = R_{di} + R_{do}$$

$$R_d = 0.002 + 0.001 = 0.003$$

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{24.00} + 0.003$$

$$U_b = 22.39 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Area de transferencia:

$$\begin{aligned}A_{(1)} &= \pi D r h \\ &= \pi (102 \text{ cm}) (100 \text{ cm}) \\ &= 32,044.24 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{(2)} &= \pi D r^2 / 4 \\ &= \pi (102 \text{ cm})^2 / 4 \\ &= 8,171.28 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$A_{(1)} + A_{(2)} = 40,215.52 \text{ cm}^2 = 43.28 \text{ ft}^2$$

Para poder determinar el valor de W es necesario multiplicar el flujo G por el área de flujo de la chaqueta:

Area de flujo de la chaqueta es :

$$A_{ch} = 0.8978 \text{ ft}^2$$

$$W = G A_{ch} = (3,543) (0.8978) = 3,181 \text{ lb / hr}$$

$$K_1 = e^{\frac{(UA/Wc)}{}} = e^{\frac{((22.39)(43.28)/(3,181)(1))}{}}$$

$$K_1 = 1.358$$

Usando la ecuación 4 se determina el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de proceso:

$$\ln \left(\frac{(80 - 20)}{(80 - 85)} \right) = (3181 / 2207.5 (0.4629)) \frac{(1.358 - 1)}{1.358} (e)$$

$$1.3863 = 0.8173 e$$

$$e = 1.6961 \text{ hrs.}$$

$$e = 1:40 \text{ hrs.}$$

Utilizando la ecuación 3 obtenemos la temperatura de salida :

$$T_2 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{80 - 20}{1.358} = 64.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

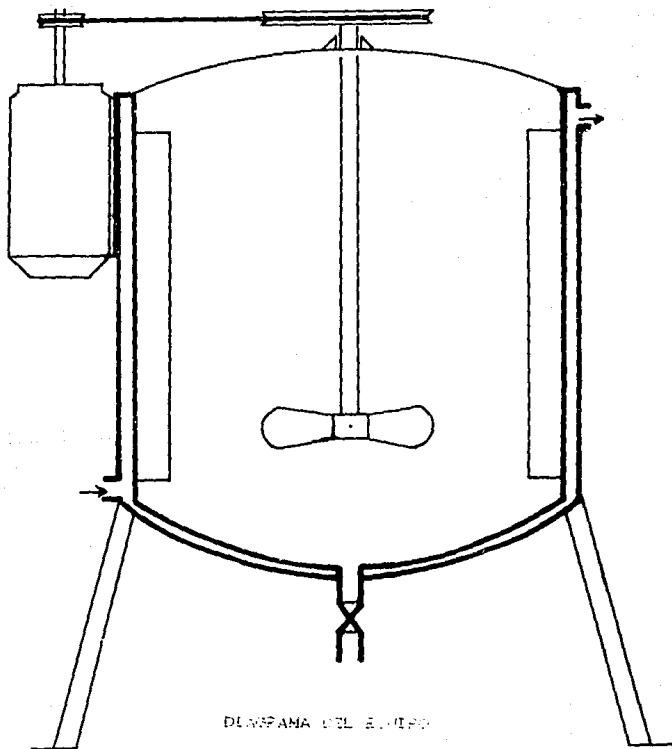


DIAGRAMA DEL REACTOR

CONCLUSIONES GENERALES

Con el presente estudio se logró optimizar el proceso de elaboración y la fórmula, obteniendo un mayor beneficio en el costo, calidad y vida de anaquel del producto.

En la siguiente tabla se muestra como se obtiene el porcentaje de disminución de costo:

Costos por concepto de formulación:

Anterior	1,353.73 pesos/kilo
Actual	1,286.33 pesos/kilo

Costos de operación:

	Tiempo	Energía Eléctrica	Gas	M. obra	Depreciación
ANTERIOR	48 hrs.	21,504	---	90,000	9,270
ACTUAL	4.5 hrs.	2,013	6,519	8,437	26,928

Costo total de operación por Kg:

Anterior	120.74 pesos
Actual	43.90 pesos

COSTO TOTAL POR KG.:

ANTERIOR	1,474.5 PESOS
ACTUAL	1,330.2 PESOS

El porcentaje global de disminución de costo es del 9.76%, además de obtener un producto de calidad estandarizada, menor tiempo de elaboración, que da como resultado menor supervisión, mayor disponibilidad del producto, menor inventario y una vida de anaquel mas larga.

BIBLIOGRAFIA

1. Shelanski H., Fair C., U.S. Patente oficial No. 2,931,777, COMPOSICION DE DETERGENTE GERMICIDA, (General Aniline and Film Corporation) New York, N.Y., abril 5 (1960).
2. Gene A., Westfield N.J., Kuprin F., U.S. Patente oficial No. 2,989,434, COMPOSICION DE SURFACTANTE NO IONICO-YODO, (General Aniline and Film Corporation), New York, N.Y., junio 20 (1961).
3. Shemolka R., Grosse F., U.S. Patente oficial No. 3,438,907, COMPOSICIONES DE YODO QUE CONTIENEN AGENTE TENSOACTIVO NO IONICO, (Wyandotte Chemical Corporation), Michigan, Mich., abril 15 (1969).
4. Schelb B., Kenmore E., Nathan L., Sullivan M., U.S. Patente oficial No. 2,977,315, COMPOSICION DE DETERGENTE SINTETICO SOLUBLE EN AGUA DE YODO-ACIDO FOSFORICO, (Laboratorios Lazarus), Buffalo, N.Y., marzo 28 (1961).
5. Winicov M., Schmidt W., U.S. Patente oficial No. 3,028,299, COMPOSICIONES GERMICIDAS Y METODOS PARA PREPARARLOS, (West Laboratories), Long Island City, N.Y., abril 3 (1962).
6. Krezanoske Z.J., U.S. Patente oficial No. 3,911,107, COMPOSICION Y DISIPACION DE SOLUCIONES DE YODO, (Flow Pharmaceuticals, Inc.), Palo Alto, CA., octubre 7 (1975).
7. Clyde R.J., U.S. Patente oficial No. 2,880,084, COMPOSICION DE UN GERMICIDA QUE CONTIENE YODO Y UNA SAL N-ACIL COLAMINO FORMIL METIL CUATERNARIA DE AMONIO, (Ruson Laboratories, Inc.), Portland, Oregon, noviembre 11 (1958).

8. Melville G., Reynolds M., U.S. Patente oficial No. 2,840,510, PREPARACION DE UN GERMICIDA CON YODO, (West Laboratories, Inc.), Long Island City, N.Y., junio 24 (1958).
9. Katz A., Shelanski M., U.S. Patente oficial No. 2,759,669, PREPARACION DE UN GERMICIDA CON UN TENSOACTIVO TRANSPORTADOR DE YODO, (West Laboratories, Inc.), Long Island City, N.Y., agosto 2 (1956).
10. Olaf Johansson J.A., U.S. Patente oficial No. 4,010,259, DESINFECTANTES QUE CONTIENEN UN COMPLEJO DE YODO A BASE DE UN TRANSPORTADOR ORGANICO HIDROFILICO, (Edjervangen 14 Verberod Sweden), marzo 1 (1977).
11. Ludwig E., MEZCLADO DE LIQUIDOS en Diseño para plantas químicas y petroquímicas. Ludwig E. Gulf publishing Company, Book Division, Capítulo 5, Houston, Texas, (1977).
12. Frederick C., Kwong A., UNA GUIA PARA EL DISENADOR en Ingeniería Química, julio 23 (1973).
13. Simpson L.L., TURBULENCIA Y MEZCLADO INDUSTRIAL Chemical Eng. Process, 1974, vol. 70, No. 10, p.p. 77 - 79. Union Carbide.
14. Wayne D., Zoller G.C., COMO AFECTA EL DISENO DE SELLOS, FLECHAS E IMPULSORES EL FUNCIONAMIENTO DE UN AGITADOR, Chemical Eng., 1976, p.p. 101 - 107.
15. Hicks W.R., Morton R.J., Fenic G.J., COMO DISENAR AGITADORES PARA TENER EL RESULTADO DESEADO EN EL PROCESO, Chemical Eng., 1983, p.p. 63 - 70.

16. Shelby A.M., Ambler M.C., Bennett C.R. SISTEMA LIQUIDO-SOLIDO Chilton and Perry, Manual del Ing. Químico. McGraw-Hill, 5ªed. 1984. sección 19-1. Vol. 2. p.p. 1-17
17. Shelanski M., y Murray W. U.S. Patente oficial No. 2,710,277 COMPOSICIONES DE YODO- ESTER DE FOSFATO. (West Laboratories, Inc.), New York, N.Y., Abril 23 (1952).
18. Alojzy Klopotek, y Rutkowski Antoni. INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE LA ESTRUCTURA FISICO-QUIMICA DE LOS YODOFOROS, Seifen-Ole-Fette-Wasche, Boletín informativo para la industria productora de detergentes, jabones, aceites y grasas, Aubsburg, marzo 10 (1977), vol. 1.
19. Watson E., U.S. Patente oficial No. 3,770,784, PRODUCCION DE YODOFOROS DE GRASA DE LANA ALCOXILADA Y CLORADA, (Woolcombers Limited, also Trading as Westbrook Lanolin Company), Bradford, England, noviembre 6 (1973).
20. Langford P.W., U.S. Patente oficial No. 4,207,310. DESINFECTANTES DE YODO-OXIDO DE AMINA, (Tenneco Chemicals, Inc.), Saddle Brook, N.J., junio 10 (1980).
21. Fredell D.I., Bruce B., Givins B., EFECTOS DEL pH Y DUREZA DEL AGUA EN LA ACTIVIDAD SANEADORA DE LOS YODOFOROS, Journal of food protection, Vol. 48, No. 7, p.p. 558 - 561, julio (1985).
22. Hugo W.B., Russell A.D., MICROBIOLOGIA FARMACEUTICA, Blackwell Scientific Publications, Boston, Melbourne (1980).
23. Block S.S., DESINFECCION, ESTERILIZACION Y PRESERVACION, Lea and Febiger, 2a edición, Philadelphia (1977).

24. Dr. Garfias F., Barzola J., Gallo R., Garcia M.E., Palacios J., Rodriguez J., Sánchez M., Sánchez F., Vázquez E., Dr. Ulises González, TENSOACTIVOS Y SU APLICACION EN LA INDUSTRIA, Sociedad Química de México A.C., México, mayo (1978)