

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**OXIDACION DE METANOL UTILIZANDO  
CATALIZADORES DE PLATA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A**

**JAVIER VALDERRABANO ROMERO**

**MEXICO, D. F.**

**AGOSTO DE 1974**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

326

AS 1974  
ABO 3  
FECHA 12/15  
PREC  
S

338



QUIMICA



FACULTAD DE QUIMICA  
DEPTO. DE PASANTES Y  
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional  
Autónoma de  
México

(AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Gral. de Servicios Escolares  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
P r e s e n t e .

Me permito comunicar a usted, que el tema de TESIS

Titulado: "OXIDACION DE METANOL UTILIZANDO CATALIZADORES DE  
PLATA"

que presenta: EL SR. JAVIER VALDERRABANO ROMERO

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó inte -  
grado en la siguiente forma:

Presidente Prof.: ENRIQUE GARCIA LOPEZ

V o c a l " : MARTIN HERNANDEZ LUNA

Secretario " : ENRICO MARTINEZ SAENZ

1er. Suplente " : LEOPOLDO RODRIGUEZ SANCHEZ

2o. Suplente " : JAIME NORIEGA BERNECHEA

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "  
Cd. Universitaria D.F., a 30 de julio de 197 4.

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES  
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM.  JULIO TERAN Z.

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A TANYA NICHELE ALLUM V.

AL DR. ENRICO MARTINEZ SAENZ POR HABERME  
PERMITIDO COLABORAR EN EL DEPARTAMENTO DE  
CATALISIS,ASI COMO DESARROLLAR EL TEMA DE  
TESIS QUE ME HIZO FAVOR DE PROPORCIONAR  
CONTANDO EN TODO MOMENTO CON LA HABILIDAD  
Y BUENA DISPOSICION CON LA QUE EL CUENTA,  
PARA ASI PODER CONCLUIR ESTA INVESTIGACION.

AL DR. MARTIN HERNANDEZ LUNA POR SU  
GRAN AYUDA ASI COMO SU AMISTAD HACIA  
CUALQUIER PERSONA INTERESADA EN LA  
INVESTIGACION, ARTE QUE DOMINA ESTA  
GRAN PERSONA.

AL GRUPO DE CAPITALIS.



A LA FAMILIA DE ROSENZWEIG PASQUEL.

MI RECONOCIMIENTO A:

JAVIER PULIDO GOMEZ PALACIO.  
JENARO DE ROSENZWEIGH PASQUEL.  
RENATE DYCKOFF WAGNER.  
ANA Y JUAN DE ROSENZWEIGH P.  
IVONNE STERN WOLF.  
DAVID BRANDON VEGA.  
GILDARDO ACOSTA RUIZ.  
LUIS MANZANO GAYOSO.  
ANDRES GARCIA REJON GUTIERREZ.  
EDUARDO BARZANA GARCIA.  
AGUSTIN LOPEZ MUNGUIA.  
GUSTAVO FUENTES ZURITA.  
RICARDO SEAHIN KATAZ.  
BERNARDO IGLESIAS ARAGON.

## INDICE :

	Pag.
Introducción	1
Objetivos	3
I) Estudio Bibliográfico	4
II) Experimentación	10
III) Procedimientos de Cálculo	22
IV) Presentación y Discusión de Resultados	24
V) Conclusiones y Recomendaciones	29
Bibliografía	31
Apéndice	32

L I S T A D E T A B L A S

Tabla 1	Resultados de las corridas experimentales para el catalizador A, a 260 y 300°C.	35
Tabla 2	Resultados de las corridas experimentales para el catalizador B, a 260, 300, y 320°C.	36
Tabla 3	Resultados de las corridas experimentales para el catalizador C, a 260, 300, y 320°C.	37
Tabla 4	Comparación de resultados entre los catalizadores B y C a 260°C	38
Tabla 5	Comparación de resultados entre los catalizadores B y C a 300°C	39
Tabla 6	Comparación de resultados entre los catalizadores B y C a 320°C	40

L I S T A   D E   F I G U R A S   Y   G R A F I C A S

		Pág.
Figura # 1	Sistéma de Flujo de los Reactivos	13
Figura # 2	Reactor Catalitico	16
Figura # 3	Equipo utilizado en la investigación	21
Gráfica 1	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para catalizador A a una Temperatura de reacción de 300°C	41
Gráfica 2	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para catalizador A, a tres temperaturas de reacción: 260, 260, y 300°C con variaciones en la fracción mol de alimentación en los reactivos.	42
Gráfica 3	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para el catalizador tipo B a 260, 300, y 320°C con una $Y'_m = 0.145$ y una $Y'_{O_2} = 0.10$	43
Gráfica 4	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para el catalizador tipo C a 260, 300, y 320°C con una $Y'_m = 0.145$ y una $Y'_{O_2} = 0.10$	44
Gráfica 5	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para el catalizador plata y plata calcio a 260°C. Con la misma fracción de alimentación de los reactivos.	45
Gráfica 6	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para comprobar la diferencia de actividad entre los catalizadores B y C a 300°C, y las mismas condiciones de alimentación para los reactivos.	46
Gráfica 7	Curva $X_f$ vs $\frac{W}{F}$ para comprobar la diferencia de actividad entre los catalizadores B y C a 320°C, y las mismas condiciones de alimentación para los reactivos.	47

Gráfica 8	Curva de calibración del manómetro para medir el gasto de oxígeno	49
Gráfica 9	Curva de calibración del manómetro para medir el gasto de nitrógeno	50
Gráfica 10	Curva de Presión de vapor de metanol vs temperatura.	51

## N O M E N C L A T U R A .

$\alpha$	:	gramos de catalizador.
N	:	Número de moles
Ni	:	Número de moles de cualquier componente.
Np	:	Número de moles de productos.
$P = P_{at}$	:	Presión atmosférica.
$P^0$	:	Presión de vapor de metanol.
PM	:	Peso molecular.
Q	:	Gasto de alimentación de reactivos.
$Q_{N_2}$	:	Gasto de alimentación de nitrógeno.
$Q_{O_2}$	:	Gasto de alimentación de oxígeno.
$Q_m$	:	Gasto de alimentación de metanol.
$Q'_t$	:	Gasto de alimentación de nitrógeno y metanol.
$Q''_t$	:	Gasto de alimentación de nitrógeno, metanol y oxígeno.
R	:	Constante de los gases.
r	:	velocidad de reacción.
T	:	Temperatura absoluta.
Ta	:	Temperatura ambiente.
t	:	tiempo que dura una corrida experimental.
V	:	Volúmen.
Vi	:	Volúmen para cada componente.
X	:	Conversión.
Xi	:	Conversión de cualquier reactivo.
$X_f$	:	Conversión a formaldehído.
Yi	:	Fracción mol de alimentación.
$Y'_m$	:	Fracción mol de alimentación de metanol.
$Y'_o$	:	Fracción mol de alimentación de oxígeno.
$Y'_{N_2}$	:	Fracción mol de alimentación de Nitrógeno.

- RESUMEN -

En el presente trabajo se estudió la reacción de oxidación de metanol sobre catalizadores de plata.

Se utilizó un reactor diferencial con truído en vidrio PYREX, en el cual se investigó el comportamiento de 3 muestras distintas de catalizador ( A, B y C) preparadas por nosotros.

Se obtuvieron datos de conversión de  $\text{MeOH}$  a formaldehído en función del espacio velocidad a tres diferentes temperaturas (260, 300 y 320 C) para cada uno de los catalizadores mencionados. El catalizador A que consistió de plata pura calcinada a 550 C por 6 horas, sirvió para fijar las condiciones de trabajo en cuanto a temperaturas y concentración de reactivos para el estudio de las muestras B y C.

Los resultados obtenidos indican que la presencia de calcio en la plata (catalizador B) reduce la conversión a formaldehído en comparación con el catalizador de plata pura (muestra C) a temperaturas de 260 y 300 C; mientras que a 320 C, sucede lo contrario. Esto sugiere un valor más alto para la energía de activación en el caso del catalizador plata-calcio.

Así mismo, los resultados indican que un aumento en la concentración de metanol en los reactivos tiene un efecto más significativo que la temperatura, sobre la conversión a formaldehído, con todas las muestras de catalizador estudiadas.



## INTRODUCCION

La producción de formaldehído ha tenido gran auge a nivel mundial, puesto que en 1972 llegó a ser de 7.5 millones de toneladas, de las cuales el 92% se logró en base a la oxidación de metanol, utilizando catalizadores de plata con exceso de metanol en los reactivos, y utilizando catalizadores de óxidos de Fe/Mo, con una mezcla reaccionante rica en oxígeno.

La aplicación principal del formaldehído se encuentra en la industria de plásticos y en la fabricación de gomas y resinas; - tecnologías de gran importancia en los últimos años.

El proceso de oxidación de metanol, utilizando catalizadores de plata, se conoce gracias a Walker ( 1 ), quien en 1910, logró desarrollar el proceso a nivel industrial. Por otro lado en 1931 Adkins & Peterson ( 1 ), lograron la oxidación de metanol utilizando un catalizador constituido por óxido de fierro - óxido de molibdeno.

Se ha continuado el desarrollo de varios procesos utilizando ambos métodos, en los cuales los catalizadores han permitido alcanzar una alta conversión con buen rendimiento, larga vida activa y resistencia mecánica. La competencia entre estos dos tipos de catalizadores ha estimulado la investigación de tal sistema - reaccionante.

En el caso de la oxidación de metanol en presencia del catalizador de óxido de fierro - óxido de molibdeno, se obtienen conversiones casi totales manejando un exceso considerable de aire, mientras que en presencia de un catalizador de plata, la conversión máxima alcanzada hasta la fecha a escala industrial es de - 70%, trabajando con un exceso de metanol; ambos procesos se uti-

lizan industrialmente, debido a que los costos elevados de compresión en un caso se compensan con los costos de separación en el otro. Sin embargo, es evidente que existe la posibilidad de mejorar la conversión para la oxidación, en el caso del catalizador de plata, pues ésta se encuentra lejos todavía del 100%, al igual que la selectividad.

De acuerdo con lo anterior, consideramos de suma importancia iniciar la investigación del catalizador de plata para oxidar metanol, con el objeto de mejorar su selectividad y rendimiento hacia formaldehído, así como iniciar el estudio del proceso de fabricación del catalizador.

En una primera etapa, que es la que concierne al presente trabajo estudiamos el comportamiento de catalizadores de plata y catalizadores de plata-calcio como promotor, de acuerdo a las recomendaciones hechas por J.J.Carberry ( 2 ), en un reactor diferencial de lecho fijo, con el objeto de observar el efecto de la temperatura y la concentración de reactivos sobre la conversión a formaldehído.

Los catalizadores utilizados fueron preparados por nosotros, con el objeto de controlar la pureza de la plata y la concentración de promotor y proporcionar además datos útiles para la preparación del catalizador a escala industrial.

OBJETIVOS.

En el presente estudio fijamos nuestra atención en tres aspectos fundamentales.

- 1.- Preparar muestras de catalizadores de plata y plata-calcio, para la oxidación de metanol.
- 2.- Estudiar el comportamiento de dichos catalizadores en un reactor diferencial de lecho fijo; obteniendo curvas de conversión de metanol a formaldehído en función del espacio velocidad en un intervalo de temperaturas entre 260 C y 320 C y a presión atmosférica.
- 3.- Estudiar el efecto de la variación en la concentración de metanol sobre su conversión a fomaldehído a las condiciones de temperatura y presión indicadas.

## CAPITULO I

### ESTUDIO BIBLIOGRAFICO.

En general la oxidación de metano sobre catalizadores de plata ha sido poco publicada, por lo que respecta a la cinética y el mecanismo de reacción; así como el efecto que tienen los cambios de las propiedades físicas del catalizador, sobre el rendimiento de la reacción.

Si bien, industrialmente se utiliza el proceso catalizado por plata, al igual que aquel catalizado por óxidos de Fe/Mo, este último ha recibido mucho mayor atención en la literatura publicada al respecto. Esto puede deberse principalmente al hecho de que hasta la fecha, la mezcla de óxidos producen un mayor rendimiento de formaldehído, que el que se ha llegado a obtener utilizando catalizadores de plata. Sin embargo, el proceso de oxidación de metanol utilizando catalizadores de plata, presenta las siguientes ventajas:

El reactor opera adiabáticamente, puesto que el calor de reacción es menor en este caso, y no es necesario manejar grandes volúmenes de aire comprimido, ya que la reacción se lleva a cabo con exceso de metanol en la corriente de alimentación.

Una de las contadas investigaciones realizadas sobre la oxidación de metanol, utilizando catalizadores de plata, es la publicada por BATTACHARYYA & GANGULY ( 3 ). En este estudio, se utilizó un reactor tubular diferencial construido en vidrio pyrex, para obtener datos cinéticos, trabajando en un intervalo de temperatura de 260 C a 290 C, a presión atmosférica.

El catalizador utilizado, se preparó por precipitación de óxido de plata, a partir de una solución A de nitrato de plata, - así como de una solución B de hidróxido de sodio, dicho óxido se redujo a una temperatura de 500 C - 600 C en atmósfera de Argón.

En las condiciones arriba expuestas, los autores concluyen - que como resultado de la reacción obtuvieron: Formaldehído,  $CO_2$  y  $H_2O$ .

A partir de los datos obtenidos, los autores dicen que el - formaldehído se produce por la reacción en la superficie entre el metanol y el oxígeno adsorbido, mientras que el  $CO_2$  puede producirse por cualquiera de los tres siguientes caminos:

a) Reacción de metanol con oxígeno adsorbido.

b) Reacción consecutiva del formaldehído con oxígeno adsorbido.

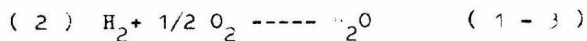
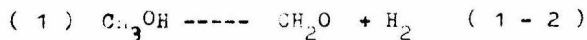
c) Reacción consecutiva del formaldehído con oxígeno adsorbido.

Por último, los datos cinéticos obtenidos, se ajustaron satisfactoramente a la siguiente ecuación de velocidad:

$$r_m = \frac{2K_o K_m P_{O_2}^{1/2} P_m}{K_m P_m + 2K_o P_{O_2}^{1/2}} \quad (1-1)$$

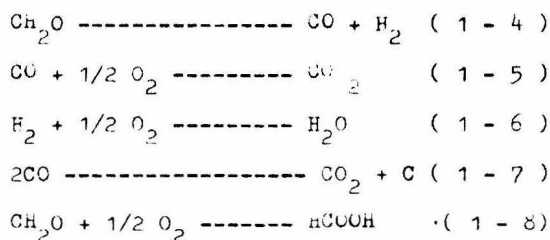
lo cual nos indica que existe un mecanismo de adsorción disociativa para el  $C_2$ .

Por otro lado Alain A Chauvel & Philippe A Courty ( 2 ), estudian la cinética de la reacción de oxidación de metanol, reportando que las reacciones principales que se llevan a cabo son:



Igualmente se efectúan reacciones paralelas, las cuales incluyen distribución o combustión directa del metanol reaccionante, - degradación o combustión del formaldehído producido. En cualquier caso, el formaldehído se produce originalmente y después se transforma a H<sub>2</sub> y CO, este último en cambio puede consumirse parcial o completamente.

Las reacciones paralelas que se llevan a cabo según lo explican los autores, son las siguientes:



Las mezclas de metanol en aire llegan a ser explosivas, por lo cual se recomienda trabajar fuera del intervalo entre concentraciones del 6.7 y 36.5 %, para evitar riesgos.

Los catalizadores de plata operando arriba de los 600 C, deben usarse por encima del límite máximo de inflamación, ( exceso de metanol en aire ), extrayendo el calor generado por la reacción por medio de la corriente de los gases, aprovechando la alta capacidad atmosférica de la misma.

Debido a lo anterior, la conversión de metanol es incompleta y normalmente 10 % de gases de salida, utilizando este tipo de catalizador, contienen 2 % de hidrógeno.

Es necesario apuntar que los autores ( 2 ), recomiendan diluir el metanol, agregando agua destilada, ya que esto permite lograr una mejor estabilidad térmica, así como una mayor conversión de metanol.

También se evita la formación de carbón, invirtiendo el equilibrio entre las cantidades de átomos de C, H, y O hacia relaciones favorables.

Los mismos autores del presente estudio, efectuaron la oxidación de metanol, utilizando catalizadores de óxidos de Fe/Mo operando en un intervalo de 400 - 425 C. El límite superior obedece a que los catalizadores de molibdeno a altas temperaturas, pueden perder su ingrediente activo por sublimación, así también, estos catalizadores llegan a ser inertes en presencia de exceso de metanol y requieren una presión parcial de oxígeno relativamente alta para mantener su actividad.

Si fuese posible oxidar metanol a formaldehído de acuerdo a las reacciones ( 1-2) y (1-3), la eficiencia de la conversión a formaldehído estaría cercana al 100%, desafortunadamente se presentan las reacciones paralelas, destruyendo algo de metanol y formaldehído.

Un análisis de las condiciones de temperatura bajo las cuales el formaldehído gaseoso permanece estable ha mostrado que la velocidad de la reacción es extremadamente lenta o casi despreciable por debajo de 300 C. En cambio la velocidad se incrementa a altas temperaturas, por lo cual se recomienda seguir dos pasos:

- a) Limitar el tiempo de residencia en la zona de reacción.
- b) Reducir la temperatura de reacción y enfriar súbitamente los gases de reacción a la salida del lecho catalítico.

Libertiet al ( 4 ) estudiaron la oxidación de metanol mediante el oxígeno contenido en la fase sólida de un catalizador de  $\text{Mo O}_3 - \text{Fe}_2 (\text{Mo O}_4)_3$  utilizando un reactor de pulso. La temperatura, la velocidad de pulso, y la concentración de metanol, se eligieron como variables independientes.

Los resultados cinéticos se explicaron sobre las bases de heterogeneidad en la superficie del catalizador, y/o envenenamiento por productos.

Pernicone, Lazzerin y Liberti ( 5 ) estudiaron la cinética de oxidación de metanol sobre un catalizador de óxidos de Fe/Mo, utilizando un reactor diferencial y un reactor de pulso, trabajando en un intervalo de 180 C - 250 C. Encontraron que la velocidad de reacción no depende de las presiones parciales de los reactivos, excepto para los mas bajos, esto se debe a que el paso mas probable que controlaba la velocidad de reacción es la disorción de  $\text{CH}_2\text{O}$  aunque esto sólo es válido a altas presiones parciales de los reactivos y en un cierto intervalo de temperatura, puesto que a bajas presiones parciales de los reactivos algún otro paso distinto a la disorción es el que controla y que debajo de cierta temperatura el paso mas lento sería otro. El formaldehído y especialmente el agua actúan como inhibidores de la reacción. Se observó una adsorción competitiva entre metanol y agua. Las velocidades de reacción medidas en el reactor de flujo a régimen permanente.

Los autores proponen un mecanismo que concuerda satisfactoriamente con los resultados experimentales, concluyendo que el paso que controla la velocidad de reacción, es la disorción de los productos.

Pernicone y Lazzerin ( 6 ) llevaron a cabo un estudio cinético de oxidación de metanol sobre un catalizador de  $\text{Mo O}_3$  con objeto de comparar un comportamiento con los resultados logrados utilizando una mezcla de óxidos de fierro y molibdeno como catalizador ( 5 ).



El  $\text{MoO}_3$  se preparó por descomposición térmica de  $\text{MoO}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$  amorfo a 400 C y se usó en forma de gránulos de 0.3 a 0.5 mm.

El aparato, así como la técnica empleada para la medición de las actividades catalíticas se describieron previamente ( 5 ).

Se encontró que trabajando a 232 C la mezcla de óxidos es 4 veces más activo que el  $\text{MoO}_3$ , pero en ambos casos el orden de la reacción es cero en el intervalo investigado de presiones parciales de los reactivos.

Los autores ( 6 ) comprueban que el agua tiene un efecto inhibitor sobre la oxidación de metanol, lo cual coincide con otro trabajo previamente publicado (7).

La energía de activación encontrada, es prácticamente la misma que la encontrada en otro estudio previo ( 5 ).

Los autores concluyen que debido a la similitud entre los resultados obtenidos en éste estudio, y el descrito anteriormente (5), el mecanismo de reacción, deberá ser el mismo con  $\text{MoO}_3$  que con óxidos de Fe/Mo. Por lo tanto el paso determinante será la desorción de los productos de reacción. Puesto que la energía de activación es casi la misma para ambos catalizadores, se podría excluir la idea de que los iones  $\text{Fe}^{+3}$  tengan el efecto de acelerar el paso determinante de la velocidad. La presencia de iones  $\text{Fe}^{+3}$  incrementa el factor pre-exponencial de Arrhenius, el cual en el caso de una reacción sobre superficies sólidas incrementa la concentración de centros activos, lo que tiene un efecto positivo sobre la velocidad de reacción.

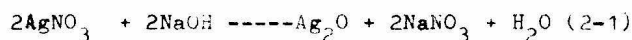
## CAPITULO II

### EXPERIMENTACION

#### 1.- Preparación de Catalizadores.

a.- Preparación del catalizador de plata. Este catalizador se obtuvo por precipitación al mezclar una solución (N) de hidroxido de sodio con otra de la misma normalidad de nitrato de plata.

Una vez obtenidas ambas soluciones se mezclan y se someten a agitación durante una hora, con el fin de obtener el óxido de plata conforme a la siguiente reacción:



La mezcla resultante se decanta y se filtra, lavando el precipitado con agua destilizada, con el fin de separar el óxido de plata, el cual se seca a 110 C durante 4 horas. El sólido obtenido, se calcina a 550 C durante 6 horas para obtener por reducción la plata metálica; el catalizador.

b.- Preparación del catalizador de plata-calcio. El procedimiento seguido para la obtención de este catalizador es el mismo que el utilizado para la preparación del catalizador de plata, con la variante de que en este caso se agregan 0.539g de nitrato de calcio durante el mezclado de las soluciones. El catalizador así obtenido tendrá 1.0 en peso de calcio con respecto a la plata.

Los catalizadores se utilizan en forma de cristales sin ser sopcr tados. El polvo que se obtiene de la preparación arriba descrita, se comprime en pastillas, para posteriormente fraccionarlas hasta el tamaño deseado  $1/32''$ , en promedio).

2.- Reactivos.

a).- Reactivos utilizados en la preparación de los catalizadores.

<u>Sustancias.</u>	<u>Proveedor.</u>	<u>Grado.</u>
Hidróxido de Sodio	Merck	R.A.
Nitrato de Plata	Merck	R.A.
Nitrato de Calcio	Merck	R.A.

b.- reactivos utilizados en la reacción.

<u>Sustancias.</u>	<u>Proveedor.</u>	<u>Grado.</u>
Metanol	Merck	R.A.
Nitrógeno	A.G.A.	Industrial
Oxígeno	A.G.A.	Industrial

c.- Reactivos utilizados en el análisis de productos.

<u>Sustancias</u>	<u>Proveedor.</u>	<u>Grado.</u>
Tiosulfato de sodio	Titrisol	R.A.
Yoduro de potasio	Merck	R.A.
Acido clorhídrico	Merck	R.A.
Hidróxido de sodio	Merck	R.A.

### 3.- Sistema de flujo de los reactivos ( Fig. #1).

Los gases nitrógeno y oxígeno fluyen de cilindros comerciales por medio de mangueras de plástico Tygon de 1/4". El nitrógeno una vez que pasa por el manómetro diferencial (para medir el gasto), - llega al burbujeador que contiene  $\text{CH}_3\text{OH}$  y se une con el oxígeno a la salida de aquel por medio de una T; a continuación, la mezcla - pasa al reactor diferencial empacado con el catalizador, donde se lleva a cabo la reacción.

Los productos pasan por un refrigerante enfriado a 2 C para - condensar metanol y agua, los que se recuperan en un matraz colector. Los productos no condensables como son el formaldehído y el  $\text{CO}_2$  pasan por una batería de dos trampas, la primera con agua para absorber el formaldehído y la segunda con una solución valorada de hidróxido de bario para absorber el  $\text{CO}_2$ , mientras que el  $\text{H}_2$  se - descarga a la atmósfera.

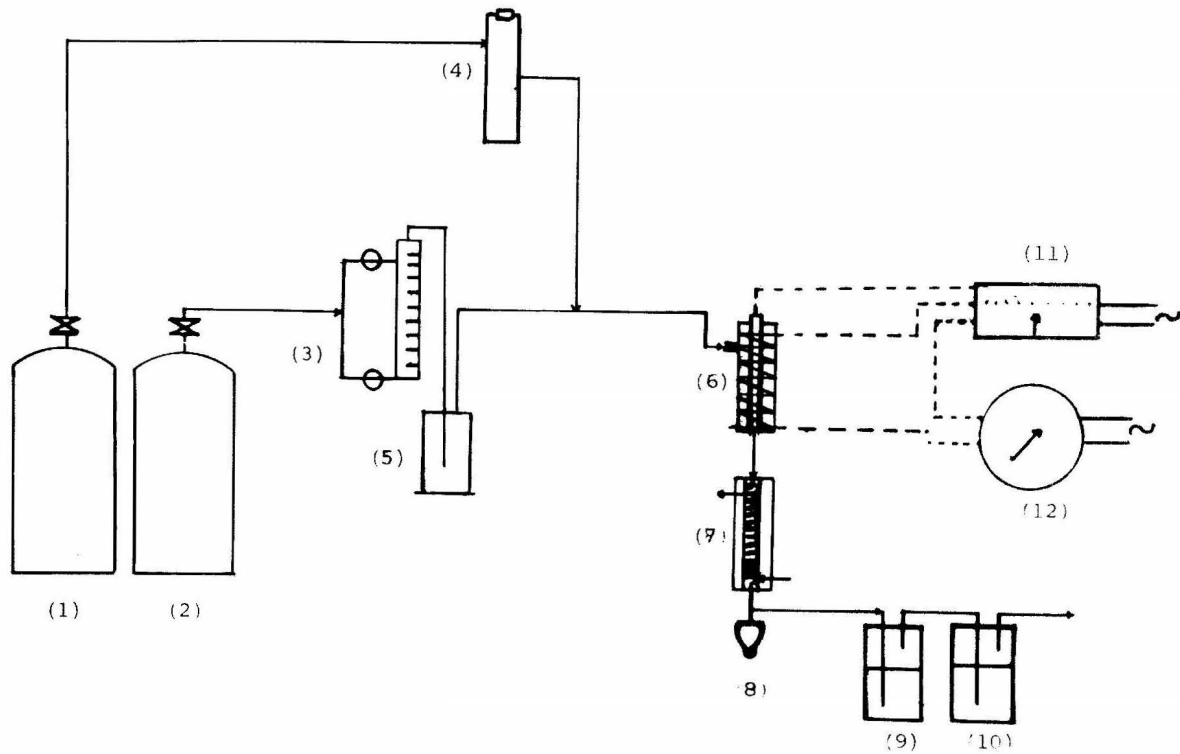


FIG # 2 SISTEMA DE FLUJO DE REACTIVOS.