

39  
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

"ANALISIS DE UN SISTEMA PARA PRODUCIR  
ACETILENO BASE SECA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
JOSE LUIS CHIRINO SPRUNG



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE:** Prof. José María García Saiz

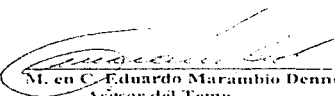
**VOCAL:** Prof. Caritino Moreno Padilla

**SECRETARIO:** Prof. Eduardo Marambio Dennett


**1er. SUPLENTE:** Prof. Jaime Medina Oropeza

**2do. SUPLENTE:** Prof. Rafael Herrera Nájera

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:** Química Experimental y Aplicada,  
Facultad de Química, UNAM



M. en C. Eduardo Marambio Dennett  
Asesor del Tema



Dr. Reynaldo Sandoval  
Supervisor Técnico



José Luis Chirino Sprung  
Sústentante

**DEDICATORIA:**

Dedico este trabajo a mis padres, por haberme brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

Tambien va dedicado a mis hermanos mayores, Juan, Joel y Ruby, por ser los ejemplos que son.

Finalmente dedico esta tesis a mis amigos, porque siempre he podido contar con ustedes.

Agradezco al M. en C. Eduardo Marambio Dennett y al Dr. Reynaldo Sandoval por sus valiosos consejos y apoyo.

**La tragedia de la vida no es la muerte,  
sino las metas no definidas,  
las convicciones no declaradas,  
los compromisos no cumplidos.**

Junio 6, 1997

## TESIS : ANALISIS DE UN SISTEMA PARA PRODUCIR ACETILENO BASE SECA.

1.- INTRODUCCIÓN :	2
OBJETIVOS :	4
2.- ACETILENO :	5
PROPIEDADES FÍSICAS :	6
PROPIEDADES QUÍMICAS:	9
USOS :	10
SEGURIDAD :	15
3.- HIDRÓXIDO DE CALCIO :	17
PROPIEDADES FÍSICAS:	17
USOS:	18
4.- PRODUCCIÓN DE ACETILENO A PARTIR DE CARBURO DE CALCIO: .....	20
GENERADORES DE ACETILENO:.....	22
REACTORES VÍA HÚMEDA .....	22
REACTORES VÍA HÚMEDA DE PRESIÓN MEDIA:.....	23
PRODUCTOS:.....	27
5.- REACTORES VÍA SECA: .....	28
REACTOR KNAPSACK VÍA SECA: .....	31
6.- TRABAJO EXPERIMENTAL : .....	35
MÉTODO DE TRABAJO: .....	35
ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES: .....	40
7.-INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE PRODUCCION: .....	40
DESCRIPCIÓN DEL REACTOR : .....	48
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN : .....	53
ARRANQUE : .....	54
ANÁLISIS DEL SISTEMA: .....	57
DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR : .....	61
CALCULOS DE DISEÑO : .....	62
8.- CONCLUSIONES : .....	66
9.- ANEXO I.- DATOS EXPERIMENTALES : .....	66
10.- BIBLIOGRAFÍA: .....	68

### *DIAGRAMAS Y TABLAS:*

TABLA NO.1 : .PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACETILENO .....	8
TABLA No. 2 .- USOS DE ACETILENO .....	12
TABLA No. 3 .- CALCULO DE ADICIÓN DE AGUA .....	37
DIAGRAMA No. 1.- GENERADOR DE ACETILENO DE MEDIANA PRESIÓN VÍA HÚMEDA .....	26
DIAGRAMA No. 2.- PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACETILENO VÍA SECA ...	33
DIAGRAMA No. 3.- EQUIPO UTILIZADO DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN ...	38
DIAGRAMA No. 4.- DESCRIPCIÓN DEL REACTOR .....	44
DIAGRAMA No. 5.- DESCRIPCIÓN DE PLATOS DE REACCIÓN .....	46
DIAGRAMA No. 6.- DETALLE DE PLATOS DE REACCIÓN .....	47

## INTRODUCCIÓN.

Algunas de las tareas exclusivas de la profesión de los ingenieros químicos son el diseño y la operación de reactores químicos, para la transformación de materia prima en productos comerciales. Para lograr esta meta, los ingenieros químicos deben seleccionar un tipo de reactor entre varias alternativas de diseño, determinar el tamaño requerido del reactor, así como especificar las condiciones de operación del mismo. Es necesario conocer las conversiones máximas posibles, la naturaleza de los procesos físicos involucrados, y los parámetros que influyen sobre las reacciones.

A pesar de que el reactor químico es el corazón de cualquier planta química, no se pueden perder de vista las funciones críticas desarrolladas por los sistemas auxiliares y equipos periféricos para completar el objetivo general de la planta, que es la generación de productos de alta calidad, con una alta eficiencia, con los costos mínimos posibles, y sin provocar efectos adversos al medio ambiente. Estos sistemas auxiliares y periféricos pueden ser, por ejemplo, el sistema de preparación de los reactivos en la alimentación (mezclado, precalentamiento,...), sistemas de separación y purificación de productos y subproductos, así como sistemas de minimización y tratamiento de cualquier desecho generado durante el proceso. La importancia de estos sistemas auxiliares no puede ser despreciada de ninguna manera, ya que frecuentemente tienen un alto peso sobre las

eficiencias, y la calidad del producto. Por lo tanto cualquier limitación en estos sistemas afectarán el comportamiento del reactor.

Con el presente trabajo se pretende analizar un reactor piloto de acetileno ( $C_2H_2$ ) base seca . La materia prima es carburo de calcio ( $CaC_2$ ) y agua ( $H_2O$ ). Se obtiene como subproducto hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) reutilizable.

Se dan descripciones fisicoquímicas de: acetileno , carburo de calcio e hidróxido de calcio, así como algunos de sus usos.

Se menciona la importancia que tiene el acetileno en la industria, así como sus características de producción en México.

Se lleva a cabo la experimentación necesaria para obtener la cinética de la reacción y utilizar esta dentro del análisis del reactor.

Se presenta una comparación entre los tipos de reactores actuales para generación de acetileno.

**OBJETIVOS.**

Descripción del proceso de producción de acetileno base seca.

Descripción y análisis del reactor piloto generador de acetileno base seca .

Comparación de generadores vía húmeda y vía seca .

Ventajas del proceso de producción de acetileno base seca.



## **ACETILENO.**

El acetileno ( $C_2H_2$ ) es el hidrocarburo mas sencillo que tiene una triple ligadura entre carbón y carbón.

Fue identificado, sintetizado, y caracterizado en 1836 (por Davy).

Antes del auge de la industria petroquímica , el acetileno era la piedra angular de la industria de la química orgánica. El único proceso de producción del acetileno antes de 1940 era a partir de carburo de calcio, pero luego se introdujo un proceso nuevo a partir del "crackeo" térmico de metano y otros hidrocarburos. Así comenzó el cambio de la industria del coque a la industria del petróleo. Con este cambio, el acetileno perdió su competitividad frente a las olefinas y derivados de nafta por ser estas últimas más baratas y tener una mayor disponibilidad.

En los años 70's con el aumento en el precio del petróleo, el desarrollo de los proceso petroquímicos de producción de acetileno sufrieron un retroceso , por lo que la producción del acetileno se vió seriamente afectada y disminuída.

Sin embargo, en años posteriores la producción de acetileno se ha mantenido constante y no ha disminuido debido a la importancia que tiene el acetileno como materia prima para la producción de una gran cantidad de compuestos y plásticos.

Por otro lado, el aumento en el precio del petróleo en los 80's encareció los procesos que utilizan naftas como materia prima, volviéndose mas rentables los procesos que utilizan acetileno como materia prima. Esto ha beneficiado la producción mundial del acetileno en los últimos años.

Actualmente, a nivel mundial, los Estados Unidos de Norteamérica y Alemania son los mayores productores de acetileno.

Por otro lado, India, Japón, Sudáfrica, y México producen acetileno a partir de carburo de calcio.

### **PROPIEDADES FÍSICAS.**

El acetileno es un hidrocarburo gaseoso de la familia de los alquinos. Es el más sencillo de los alquinos teniendo una triple ligadura con hibridación  $sp$  en los orbitales atómicos del carbono.  $H - C \equiv C - H$

Bajo condiciones normales de presión y temperatura, el acetileno es un gas incoloro , no tóxico pero narcótico.

El acetileno puro tiene un olor vagamente dulce. El olor a ajo del acetileno producido con carburo de calcio se debe a impurezas como  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , y arsénico .

El acetileno tiene una baja polaridad. Se absorbe parcialmente en agua, pero es muy soluble en disolventes orgánicos (ver tabla no.1). Esta característica es muy importante para su almacenamiento, transportación, separación y purificación.

A temperatura ambiente y a presión atmosférica, el acetileno no se descompone. La descomposición se inicia solo al exceder ciertos valores de presión por arriba de la atmosférica, por lo que no puede comprimirse.

El acetileno en estado líquido puede descomponerse al impacto, al calentarlo, o al entrar en contacto con algún catalizador. Por lo tanto el acetileno nunca se licúa para su almacenamiento o transportación.

Por otro lado el acetileno sólido no se descompone tan fácilmente como el acetileno líquido, sin embargo es un material extremadamente inestable y peligroso.

Las principales propiedades físicas del acetileno aparecen en la siguiente tabla:

**TABLA No. 1.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACETILENO**

Peso Molecular	26.038
<b>* PUNTO TRIPLE*</b>	
Temperatura	192.6 K (-80.4 °C)
Presión	128.2 kPa
Calor de Fusión	5.585 kJ/mol
Calor de Vaporización	15.21 kJ/mol
<b>* PUNTO CRÍTICO*</b>	
Temperatura Crítica	308.85 K (35.85 °C)
Presión Crítica	6.345 MPa
Densidad Crítica	0.231 g/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión a 101.3 kPa	192.15 K (-80.4°C)
Punto de Sublimación a 101.3 kPa	189.55 K (-83.45°C)
Densidad (g)	1.729*10 <sup>-3</sup> g/cm <sup>3</sup>
Densidad (s) (189.1 K)	0.729 g/cm <sup>3</sup>
Calor de Sublimación	21.59 kJ/mol
<b>*PROPIEDADES a 273.15 K y 101.3 kPa:</b>	
Densidad (g)	1.171*10 <sup>-3</sup> g/cm <sup>3</sup>
Calor Específico (Cp)	42.7 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Capacidad Calorífica (Cv)	34.7 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Cp / Cv	1.23
Viscosidad Dinámica	9.43 m Pa*s
Conductividad Calorífica	0.0187 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Factor de Compresibilidad	0.9909
Velocidad de sonido	341 m/s
Entalpia	8.32 kJ/mol
Entropía	197 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

## PROPIEDADES QUÍMICAS:

El triple enlace presente en la molécula del acetileno, le da una gran reactividad debido a la alta tendencia del átomo de carbono para atraer los electrones y romper la triple ligadura ( $H - C \equiv C - H$ ).

Esta tendencia de atracción de electrones nos ofrece una explicación para la acidez de los átomos de hidrógeno de la molécula del acetileno. Estos átomos de hidrógeno son fácilmente reemplazables por iones metálicos para formar acetiluros ( $MHC_2$  o  $M_2C_2$ ). Así mismo es responsable de la fuerte interacción que presenta el acetileno con disolventes básicos.

El acetileno tiene un carácter fuertemente insaturado debido a su triple enlace, además de tener una alta energía libre de formación, por lo que el acetileno reacciona fácilmente con varios elementos y compuestos. Esto nos da como resultado que el acetileno sea utilizado como materia prima para la producción de una gran variedad de productos.

El acetileno puede participar de una manera muy importante en reacciones de vinilización, etnilización, carbonilización, así como polimerizaciones cíclicas y lineales.

## USOS :

Con el paso del tiempo han ido evolucionando los diferentes usos del acetileno.

El primer gran uso que se dio a este gas, gracias a su inflamabilidad, fue el de gas de iluminación. Pero hubieron dos factores que evitaron la aceptación universal del acetileno para esta aplicación : por un lado tiene un gran competidor , el gas natural, que atrae al mercado gracias a su bajo precio; por otro lado, la gran desventaja que es el riesgo inherente que trae consigo el manejo del acetileno.

Una serie de accidentes fatales trajeron como consecuencia reglamentos estrictos en el uso y manejo del acetileno en prácticamente todos los países industrializados. Para cuando se tuvieron métodos seguros de manejo del acetileno, ya se había descubierto la luz incandescente , por lo que el uso de acetileno como gas de iluminación desapareció prácticamente.

Mientras tanto , el hecho que el acetileno tenga una muy alta temperatura de flama cuando se quema con oxígeno puro, llevó al desarrollo de la soldadura oxiacetilénica.

El uso de este tipo de soldadura en talleres pequeños requería de seguridad y eficiencia , por lo que se comenzaron a desarrollar pequeños generadores de acetileno a partir de carburo de calcio y agua.

Así mismo, como alternativa, se han desarrollado procedimientos seguros para el manejo y almacenamiento del acetileno.

El uso del acetileno para la soldadura, ha ido en crecimiento desde sus inicios hasta la actualidad.

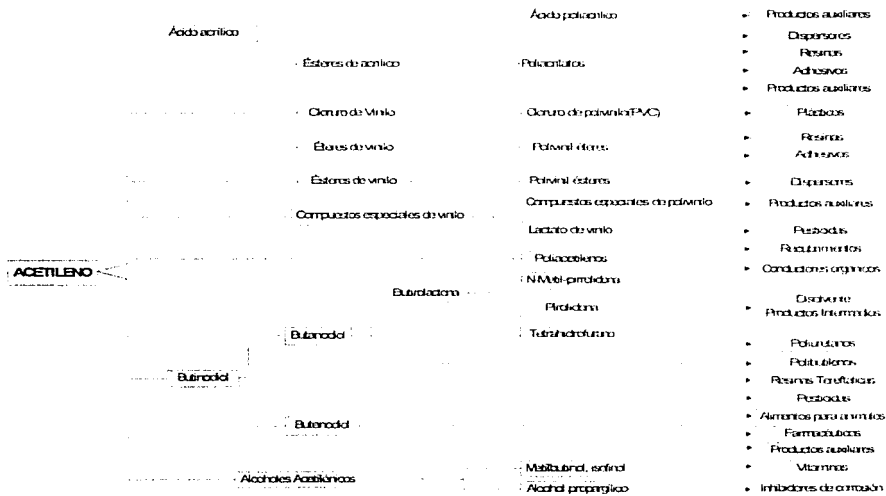
Es importante mencionar que el desarrollo de producción del acetileno vino gracias a su valor como intermediario en muchos procesos industriales.

Algunos de los usos del acetileno como materia prima en procesos industriales son:

- La producción de disolventes clorados como el tetracloroetano y tricloroetileno.
- La producción de ácido acético , anhídrido acético, acetona.
- Diferentes hules sintéticos basados en butadieno
- Neopreno.
- Monómeros de vinilo tales como acetatos de vinilo , cloruro de vinilo , que se utilizan para la producción de pinturas de látex , y polímeros como el cloruro de polivinilo (PVC).

En el siguiente diagrama, se presentan la gran variedad de productos químicos que se producen a partir del acetileno.

TABLA No. 2.- USOS DEL ACETILENO





Entre 1960 y 1970 , la producción mundial de acetileno llegó a un máximo y la mayoría de los productos enlistados en la tabla anterior se producían vía acetileno. Durante los últimos 20 años la competencia entre el acetileno y las olefinas ha traído como consecuencia la sustitución de etileno y propeno por acetileno, especialmente en la producción del acetaldehído y el acrilonitrilo.

Hoy en día, el acetileno juega un papel importante en la producción de los compuestos químicos acetilénicos. El hecho de que la producción de acetileno no haya decaído más durante los últimos años , nos indica claramente que la competencia de las olefinas no es tan fuerte como lo llegó a ser. La razón principal de esto es que la química olefínica europea depende de productos de refinación, que se han encarecido comparándolos con el gas natural, que es la materia prima principal para la producción de acetileno a nivel mundial. Otro factor que contribuye importantemente es el hecho que el acetileno se produzca en plantas químicas viejas, brindándole un bajo costo de capital .

Por otro lado, se han desarrollado mejoras de procesos, como lo es el aumento de la eficiencia térmica y el uso óptimo de subproductos en otras plantas , dándole consecuentemente una mayor competitividad al acetileno.

La posición del acetileno en la industria química es importante debido a la gran variedad de productos que se pueden obtener a partir de él con buenos porcentajes de conversión y tecnologías avanzadas.

El acetileno debe competir contra el etileno para la producción de cloruro de vinilo y de acetato de vinilo. Otro competidor del acetileno para la producción del ácido acrílico y sus ésteres es el propeno.

En México el acetileno se consume principalmente para soldadura, como medio de maduración de frutas, y para la eliminación de azufre del acero.

A partir de los años treinta, comienza la producción del acetileno en México para abastecer la demanda del mercado nacional. Durante el inicio, la producción era a partir de carburo de calcio con tecnología alemana. En la actualidad el acetileno se produce con materias primas nacionales y cubre la demanda nacional, por lo que hoy en día se exporta el acetileno a diferentes países de Centro y Sudamérica con precios competitivos a nivel mundial.

## **SEGURIDAD :**

La inestabilidad termodinámica del acetileno trae como consecuencia serios problemas en el manejo de este gas. Durante los primeros años de desarrollo de la industria del acetileno , se produjeron grandes accidentes que trajeron como resultado la regulación estricta del manejo y transportación del acetileno, además de llevarse a cabo extensa investigaciones para conocer las causas y prevenir estos accidentes.

Bajo condiciones medias, el acetileno se descompone en sus elementos o entra en reacciones de autocondensación. Esto se lleva a cabo a velocidades explosivas. Algunas variables que afectan las reacciones de descomposición son la temperatura, la presión, la concentración de las mezclas, el tamaño y forma del recipiente, las propiedades químicas y físicas del recipiente, así como la presencia de objetos o fenómenos de iniciación.

Los accidentes de descomposición ocurren cuando una fuente de ignición se encuentra con el acetileno en condiciones tales que se pueda llevar a cabo una reacción de descomposición . La ignición es usualmente un punto localizado de alta temperatura, como una chispa , cualquier forma de metal derretido, algún golpe, o hasta una tubería caliente.

El acetileno se quema en presencia del aire en concentraciones tan bajas como 2% de acetileno. Dado que el acetileno puro puede mantener un frente de flama a presión

atmosférica, se considera que su valor máximo de inflamabilidad es del 100 %. Se llega por lo tanto a la conclusión de que el acetileno puro, no se puede almacenar ni transportar confiablemente a presiones arriba de la atmosférica.

El procedimiento más común para la transportación del acetileno consiste en disolverlo en algún disolvente adecuado a presiones altas dentro de un cilindro lleno en su totalidad de alguna sustancia inerte y porosa como el asbesto o el llamado "kieselguhr". El disolvente comúnmente usado es la acetona.

El transporte de acetileno se puede hacer en tuberías de diámetros pequeños, ya que se conoce como un hecho que no detonará en este tipo de tuberías. Las ventajas de la dilución se mencionaron anteriormente, y también se aplican para otros gases. Normalmente se usa propano para la dilución del acetileno para poder transportarlo en tuberías.

Por otro lado, tramos largos y rectos de tuberías deberán ser evitados. En caso de que no haya otra posibilidad, se recomienda interrumpir estos tramos con arrestaflamas. Así mismo, las unidades de proceso son protegidas de posibles detonaciones de tuberías por medio de dispositivos de ruptura (blow out device).

### **HIDROXIDO DE CALCIO :**

Dentro de la reacción para la producción del acetileno a partir de carburo de calcio y agua, se obtiene también hidróxido de calcio.

El hidróxido de calcio es conocido por diferentes nombres como cal hidratada, hidrato de calcio, entre otros.

Este compuesto es en su estado puro un sólido blanco e inodoro .

En la naturaleza se encuentra la piedra caliza, y por diferentes procesos se obtiene el hidróxido de calcio.

Como producto de la reacción entre carburo de calcio y agua, se le puede obtener con diferentes cantidades de agua dependiendo del reactor donde se lleve a cabo la reacción, produciendo en algunos casos lodos.

### **PROPIEDADES FÍSICAS:**

El hidróxido de calcio en la naturaleza puede tener una variada cantidad de impurezas. Como por ejemplo  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{CO}_2$ , entre otras.

El hidróxido de calcio es una base fuerte pero tiene una solubilidad en agua limitada. Su solubilidad es de  $0.219 \text{ g Ca(OH)}_2 / 100 \text{ g H}_2\text{O}$  , y por lo tanto se le utiliza en forma de suspensión.

#### **USOS:**

El hidróxido de calcio es uno de los compuestos naturales de mayor uso en la industria. Tienen un gran uso en la agricultura, en la construcción , y en la industria química .

El uso de cal en los suelos agrícolas promueve las cosechas al reducir la acidez de los suelos , además de proporcionar nutrientes importantes para las plantas.

Así mismo, es utilizada en la industria metalúrgica en la producción de acero, en el tratamiento de oro y plata . También se le da mucho uso en las plantas de tratamiento de aguas municipales e industriales .

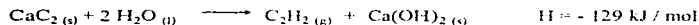
Se le utiliza además en diferentes etapas de los procesos de producción de papel, de vidrio, de insecticidas, de carburo de calcio , en el curtido de pieles, y en la preparación de agentes blanqueadores.

---

**PRODUCCIÓN DE ACETILENO A PARTIR DE CARBURO DE CALCIO:**

Hoy en día la producción a partir de carburo de calcio es de importancia para la generación de acetileno para uso en soldaduras. La situación particular de la materia y el uso de procesos especiales son dos valiosas razones para continuar utilizando acetileno generado a partir de carburo de calcio en la industria química.

La reacción del carburo de calcio con agua para producir acetileno e hidróxido de calcio es una reacción altamente exotérmica :



Esto implica que el generador de acetileno para producción comercial tendrá que ser diseñado para que disipe la cantidad de calor que se genera en esta reacción. En caso de una mala disipación del calor, por ejemplo en el caso de que la gasificación se lleve a cabo en ausencia de agua, el carburo se puede llegar a poner al rojo vivo. Bajo ciertas circunstancias, incluyendo un aumento en la presión, esto puede producir una inestabilidad del acetileno por lo que se descompondría en sus elementos iniciales, carbono e hidrógeno.

El carburo de calcio que se utiliza en la producción de acetileno puede tener los siguientes tamaños de grano (mm) : 2-4 , 4-7 , 7-15 , 15-25 , 25-50 , 50-80.

Para el caso de los generadores de acetileno vía seca se utilizan únicamente granos de 0-4 mm.

El carburo de calcio puro tiene un número de producción de 372.66 . Esto quiere decir que 1 Kg. de carburo de calcio 100 % puro produce 372.66 litros de acetileno a 25 °C y una presión de 1013 mbar (101.3 kPa) al realizarse una reacción completa.

El carburo de calcio comercial tiene un número de producción entre 260 - 300.



**GENERADORES DE ACETILENO:**

Existen dos grupos claros de generadores de acetileno, que tienen una producción mayor a  $10 \text{ m}^3/\text{hr}$  : Los generadores vía húmeda, y los generadores vía seca.

En los generadores vía húmeda el acetileno es producido en presencia de un gran exceso de agua. En estos generadores se obtiene también un lodo que contiene entre el 10-20 % en peso de hidróxido de calcio. El calor de reacción incrementa la temperatura del agua y esta es removida del reactor por medio del lodo de hidróxido de calcio.

Por otro lado, en los generadores vía seca el agua mezclada con el carburo es suficiente para que se lleve a cabo la reacción y para que el calor generado durante la reacción sea disipado, evaporando el resto de agua .

El hidróxido de calcio que se obtiene en el proceso vía seca es un polvo seco fácilmente manejable , que tiene un contenido de humedad entre el 1-12 % .

Los reactores se clasifican según su presión de operación en dos categorías : de baja presión , o bien , de mediana presión.

Los reactores de baja presión, están diseñados para trabajar a una presión máxima permisible de 0.2 bar (0.197 atm). Deben estar diseñados para una presión interna de por lo menos 1 bar ( 0.987 atm).

Los reactores de mediana presión , están diseñados para trabajar a una presión máxima permisible de 1.5 bar ( 1.48 atm). Deben estar diseñados para una presión interna de 24 bar (23.68 atm). Un diseño de presión de 5 bar es suficiente cuando el generador está equipado con discos de ruptura de un tamaño definido y cierta presión de respuesta.

### **REACTORES VÍA HÚMEDA :**

Los reactores vía húmeda son utilizados principalmente para la producción de pequeñas cantidades de acetileno, como por ejemplo para usos de soldadura.

Los reactores vía húmeda operan según uno de los siguientes principios:

1. El principio de carburo a agua : donde el carburo de calcio se mezcla con un gran exceso de agua , a una rapidez correspondiente a la rapidez de salida del gas. La mayoría de los reactores funcionan según este principio.

2. El principio de agua a carburo ( reactores tipo cajón ) : donde el agua es adicionada a una rapidez controlada al carburo de calcio que se encuentra contenido en contenedores reemplazables (cajones).
3. El principio de contacto ( reactores tipo canasta ) : donde el carburo está contenido en una canasta que es sumergida en agua contenida en el reactor. Este tipo de reactores está diseñado para que el agua salga de la canasta al aumentar la presión interna de esta, debido a la baja la rapidez de salida del gas, y por otro lado , cuando la rapidez de salida del gas aumenta , entra el agua a la canasta.

### **REACTORES VIA HÚMEDA DE PRESIÓN MEDIA:**

El Reactor Messer Griesheim MF 1009 (ver diagrama no.1) es un típico generador de acetileno vía húmeda, de presión media , carburo a agua. Este es un reactor para la producción continua aproximada de  $75 \text{ m}^3/\text{hr}$  de acetileno.

El Reactor MG MF-1009 opera de la siguiente manera:

El contenedor (a) es llenado con granos de carburo de calcio de 4 a 7 mm de tamaño. El carburo es alimentado al dosificador (b) por medio de puertas selladas . De aquí pasa por medio de un sistema de alimentación (c) a la cámara de gasificación (d). El dosificador (b) trabaja en una atmósfera libre de aire , por lo que es purgado éste con

nitrógeno o con acetileno. La cámara de gasificación contiene una cantidad de agua dada, definida por la capacidad del reactor . Además está provista de un sistema de agitación (e) para remover los lodos generados. El calor generado por la reacción calienta al agua de la cámara de gasificación, por lo que se debe alimentar agua fresca constantemente . El agua dentro del reactor no deberá sobrepasar los 90 °C. Cuando la cantidad de agua dentro del reactor sobrepasa los límites definidos, un sistema de flotación (f) que controla la válvula de lodos , abre ésta para que el exceso de agua y lodo salgan del sistema . El acetileno generado es coleccionado y descargado por arriba del nivel del agua . El sistema de alimentación de carburo de calcio a la cámara de gasificación es controlada por la presión del gas , esto es, la velocidad con la que el carburo es alimentado al sistema de gasificación varía directamente con la velocidad de descarga del acetileno de la cámara de gasificación.

La cantidad dentro del dosificador (b) dura aproximadamente una hora , pero el contenedor (a) , puede ser rellenado de carburo de calcio , para que se tenga un proceso continuo. El generador húmedo descrito tiene una capacidad de producción de 75 m<sup>3</sup>/hr de acetileno. El contenedor (a) tiene una capacidad de 1000 Kg. de carburo de calcio.

Los generadores húmedos de baja presión, trabajan de una forma muy parecida a los reactores de media presión. En la mayoría de los casos, los reactores de baja presión tienen un retenedor de acetileno tipo campana flotante. La velocidad de alimentación en

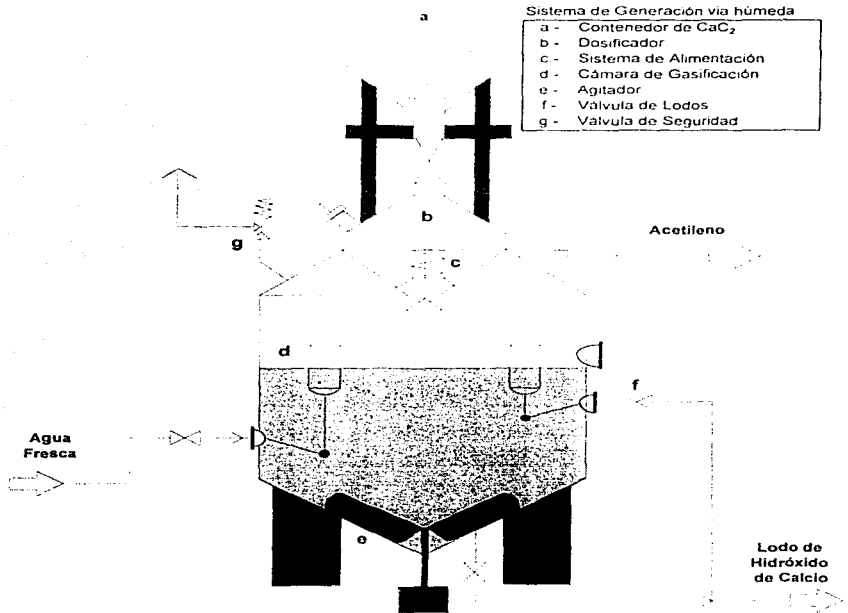
---

estos reactores, está controlada por la posición de la campana flotante , mientras que en los reactores de mediana presión, la velocidad de alimentación del carburo está dada por la presión del gas.

Los generadores vía húmeda son utilizados principalmente para producir pequeñas cantidades de acetileno , para su uso en soldadura, ya que su rendimiento es bajo , además de obtenerse un acetileno con impurezas y trazas de agua.

**DIAGRAMA No. 1.- GENERADOR DE ACETILENO DE MEDIANA PRESIÓN VIA HÚMEDA**

**PROCESO MESSER GRIESHEIM MF 1009, SISTEMA CARBURO A AGUA.  
Carburo de Calcio**



## **PRODUCTOS:**

La mayoría de los procesos, el acetileno obtenido en reactores húmedos no necesita una purificación, en caso de que el acetileno sea usado para soldadura. Por otro lado, en algunos casos se puede purificar el acetileno al conectar a la salida del reactor purificadores de carbón activado o grava, o bien lavadores quitando partículas sólidas o líquidas que pueda tener el producto.

En caso de ser utilizado para procesos químicos, el acetileno será purificado químicamente.

El lodo formado dentro del generador es descargado a lagunas. En éstas se junta el hidróxido de calcio que contiene entre 35 y 70 % en peso de agua. Es utilizado posteriormente como cal de carburo en diferentes uso industriales.

### **REACTORES VÍA SECA:**

Los reactores secos son utilizados principalmente para la producción de grandes cantidades de acetileno para uso en síntesis químicas.

Comparando con los reactores húmedos, la principal ventaja que tienen los reactores secos, es que se produce un hidróxido de calcio relativamente seco como subproducto. Este se puede utilizar en otros procesos de forma más sencilla, más barata, y más diversificada que los lodos de hidróxido de calcio que se obtienen de los reactores húmedos. Cabe mencionar que el reciclaje de hidróxido de calcio para producir carburo de calcio es sólo posible con hidróxido de calcio seco.

Los criterios de diseño más importantes que se tienen que considerar en los reactores secos, es una velocidad alta de gasificación y la eliminación de riesgo de un sobrecalentamiento. En los primeros diseños de reactores secos, trabajaban por renovación continua de la superficie de reacción de carburo por medio de tambores rotatorios, aspas, malla vibratoria, y equipos similares. Ejemplos de diseños de estos reactores son el "Shawinigan Chemicals" y "Piesteritz".

Existen diferentes variables que afectan la velocidad de gasificación del carburo de calcio, como son densidad, porosidad y estructura cristalina, pero la más importante



es la superficie específica. Por esta razón , los reactores secos tienen que trabajar con gránulos de carburo de calcio muy finos, esto es de 0 a 3 mm de diámetro. Este tipo de granos de carburo de calcio se gasifica en una fracción del tiempo necesario para la gasificación de granos de mayor tamaño. Por lo tanto se obtiene como resultado un gran rendimiento en términos de espacio - tiempo.

#### **REACTOR KNAPSACK VÍA SECA :**

A continuación se describe un reactor seco conocido como "Knapsack" desarrollado por la compañía Hoechst ( ver diagrama no. 2). El reactor de este tipo de mayor tamaño es de 3.5 m de diámetro por 8.0 m de altura.

Se transportan granos de 0 - 3 mm de tamaño por una banda transportadora (BA-01) , a un receptor subdividido de alimentación (TA-02) . Esta banda transportadora es cargada de carburo de calcio por un tanque de carburo (TA-01). La alimentación a este receptor lo mantiene siempre lleno. Por otro lado la capa de carburo de calcio presente en el receptor sirve como un sello entre el sistema de alimentación y el sistema de producción de acetileno.

El carburo de calcio es alimentado al sistema por medio de una estrella de alimentación (EA-01) , para pasar posteriormente por un tornillo sinfín de alimentación (TS-01).

El reactor (GS-01) de 8 m. de altura tiene 13 platos . Estos platos están diseñados de tal forma que dejan un espacio anular central en un plato, y un espacio anular exterior en otro, de forma alternada . Estos platos tienen un sistema de palas para mover los sólidos.

El carburo de calcio es alimentado al primer plato del reactor, donde también es alimentada el agua. La mezcla de reacción compuesta por agua , carburo de calcio e hidróxido de calcio es empujada por las palas hacia la parte exterior del plato , cayendo al segundo plato, donde es empujada hacia el centro para caer al tercer plato, y así sucesivamente. Cuando llega al último plato, el carburo ha sido gasificado totalmente. El hidróxido de calcio que contiene alrededor de 6 % de agua , cae a un recolector de cal (TR-01). Aquí se tiene una capa de 2 m. de alto de cal, que funciona como sello entre el generador y el sistema de recolección del hidróxido de calcio. El hidróxido es removido por medio de un tornillo sinfín (TS-02).

El gas que sale del generador, y pasa a través de la trampa de hidróxido de calcio (TS-03) contiene aproximadamente 25 % de acetileno y 75 % de agua. El vapor de agua

es el resultado de la disipación de la mayor parte del calor generado durante la reacción. Dependiendo de la carga del reactor, se llegan a pasar junto con el acetileno, varios cientos de kilogramos de hidróxido de calcio en polvo. Por lo tanto es necesario pasar el gas por la trampa de hidróxido de calcio, donde la mayor parte de este polvo es retenido y regresado al reactor. El resto del polvo que logra pasar, es mandado junto con el gas a la primera torre lavadora (T1-01).

En esta torre se lava el gas caliente (temperatura aproximada de 90 °C) con lodos de cal esparados, removiendo el resto de hidróxido de calcio presente en el gas, además de que parte del agua se condensa debido al enfriamiento simultáneo.

En la segunda torre lavadora (T1-02), el acetileno es esparado con agua atomizada, para enfriar el gas a una temperatura de 40 °C. El resto del agua se condensa en esta torre. (Por otro lado el amoniaco que pudiera estar presente, es removido en esta torre.)

El acetileno sale del sistema por medio de un sello sumergido (DS-01). Este gas contiene todavía algunas otras impurezas de compuestos de fósforo, y sulfuros.

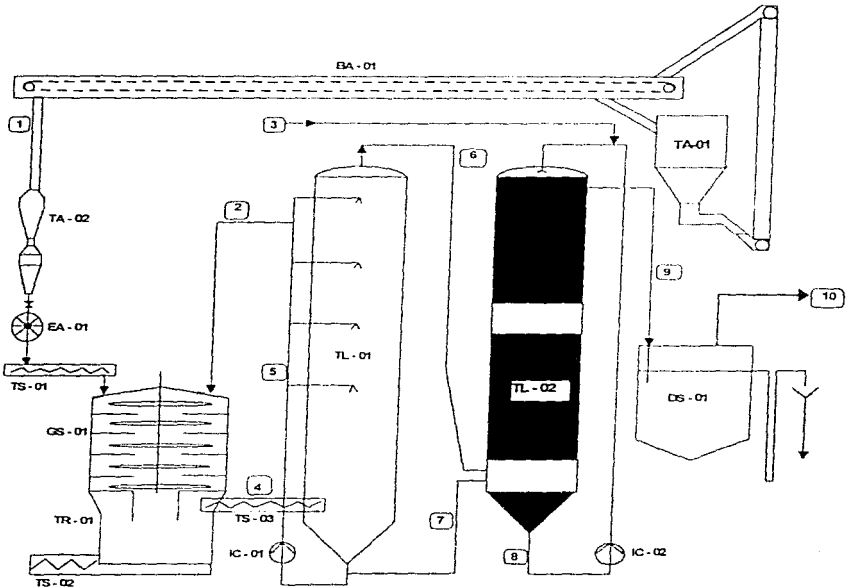
El reactor tipo Knapsack tiene la capacidad para procesar 15 T/hr, que corresponden a una producción de 3750 m<sup>3</sup> / hr. Durante este proceso se generan

aproximadamente 17.5 T/hr de hidróxido de calcio. La presión en este reactor seco de presión baja es aproximadamente de 1.15 bar (115 kPa).

El hidróxido de calcio producido durante este proceso, tiene un amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, en la industria de la construcción , para preparar cemento, en la industria química , en la producción de carburo de calcio, o como agente neutralizante, en la agricultura, como fertilizante, así como en el tratamiento de aguas industriales y municipales.

DIAGRAMA No. 2.- PROCESO DE PRODUCCION DE ACETILENO VIA SECA.

PROCESO HOECHST KNAPSACK



LISTA DE EQUIPO

BA - 01	BANDA ALIMENTADORA DE CARBURO
TA - 01	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CARBURO
TA - 02	TANQUE DE DOSIFICACIÓN DEL CARBURO
EA - 01	ESTRELLA DE ALIMENTACIÓN AL REACTOR
TS - 01	TORNILLO SINFIN DE ALIMENTACIÓN DE CARBURO
TS - 02	TORNILLO SINFIN DE DESCARGA DE HIDRÓXIDO DE CALCIO
TS - 03	TRAMPA DE POLVO Y DOSIFICADOR DE ACETILENO
GS - 01	REACTOR DE ACETILENO BASE SECA
TR - 01	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIDROXIDO DE CALCIO
TL - 01	TORRE LAVADORA DE ACETILENO
TL - 02	TORRE LAVADORA DE ACETILENO
IC - 01	INTERCAMBIADOR DE CALOR
IC - 02	INTERCAMBIADOR DE CALOR
DS - 01	DEEP- SEAL

CORRIENTES

1	CARBURO DE CALCIO
2	LODOS DE HIDRÓXIDO DE CALCIO
3	AGUA DE LAVADO
4	ACETILENO CON POLVOS DE CAL E IMPUREZAS
5	AGUA DE LAVADO
6	ACETILENO CON IMPUREZAS
7	LODOS DE HIDRÓXIDO DE CALCIO
8	AGUA DE LAVADO
9	ACETILENO CON IMPUREZAS
10	ACETILENO PURO

### **EXPERIMENTACION:**

Dentro del desarrollo de la investigación, se llevó a cabo una etapa experimental con la finalidad de obtener la cinética de la reacción para así poder dimensionar el equipo. Cabe mencionar que durante la revisión bibliográfica realizada no se encontró el valor de la cinética para esta reacción con los valores y parámetros utilizados durante la experimentación.

La obtención de la cinética se obtuvo con el siguiente método de trabajo.

### **MÉTODO DE TRABAJO:**

En un matríz de fondo plano se agrega una cantidad medida de carburo de calcio de pureza conocida. El peso de la cantidad agregada se midió con una balanza analítica, y en un frasco de vidrio con tapón esmerilado "pesafiltro", trabajando rápidamente para evitar la reacción del carburo de calcio con la humedad presente en el aire.

El  $\text{CaC}_2$  se introduce en el matríz junto con una barra magnética, tapándolo con un tapón de hule bihoradado. El tapón utilizado cuenta con un tubo de vidrio de desprendimiento de gases de salida. Este tubo se conecta con una manguera de polipropileno, y llega al fondo de una bureta que contiene una disolución saturada de cloruro de sodio. El volumen de la disolución será desplazado por aquel del acetileno

producido durante la reacción. Es necesario que la solución de NaCl esté saturada, para evitar las pérdidas de volumen debido a la disolución del acetileno en el agua. (Solubilidad de acetileno = 0.1 mol/Kg H<sub>2</sub>O)

El matríz se mantendrá agitado por el electroimán para homogeneizar la reacción, y simular de manera más real las condiciones del reactor.

La reacción se inicia al agregar agua mediante una jeringa que ha sido insertada al matríz a través del tapón de hule. Se agrega 1 ml de agua cada minuto y se marca el volumen desplazado en la bureta.

Antes de comenzar a agregar el agua, se ha hecho el cálculo para conocer la cantidad necesaria de ésta, según el peso y la pureza del CaC<sub>2</sub>. Se agrega la cantidad necesaria para que se lleve a cabo la reacción totalmente además de una cantidad adicional para la disipación del calor.

**TABLA No.3.- Cálculo de adición de agua**

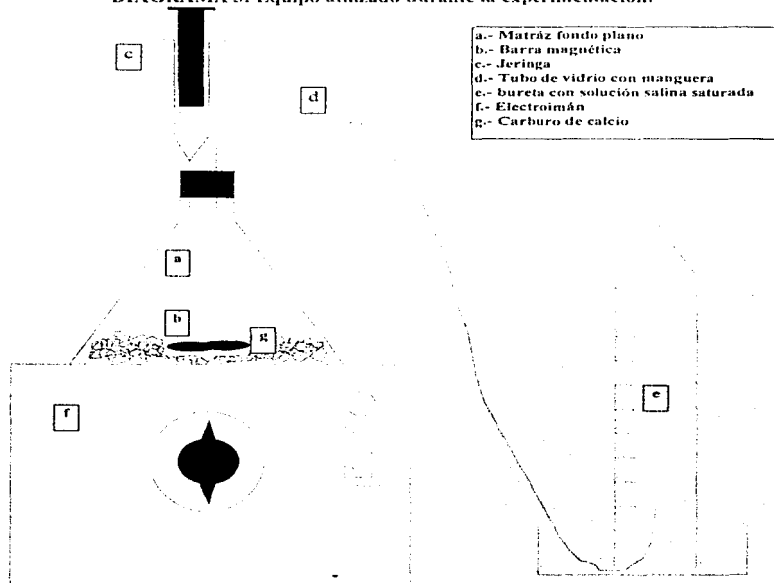
Pureza de CaC <sub>2</sub>	CaC <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub>		Energía Generada	Energía Generada	Agua de Enfriamiento
	g/min	g/min	Litros/min	g/min	KJ/min	Kcal/min	Lts/min
97.5%	87	52.49	32.40	98.08	170.98	40.83	8.17

Una vez terminada la reacción, se procede a medir el volumen desplazado por el acetileno generado en la reacción. Esto se hace llenando la bureta hasta la marca del



volumen con agua bidestilada. Se vacía el agua y se pesa en una balanza granataria electrónica . Con el peso del agua bidestilada medido y la densidad del agua a la temperatura ambiente, se conocerá el volumen desplazado por el acetileno producido.

DIAGRAMA 3: Equipo utilizado durante la experimentación.

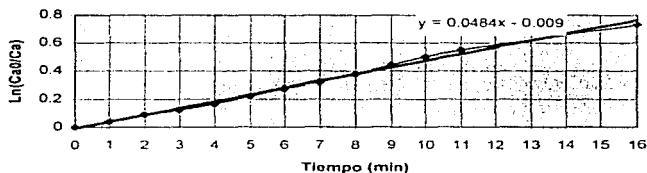


CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE REACCIÓN A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES:

Experimento realizado con agitación continua

Tiempo min	Peso del agua (gr)	Volumen de Agua desplazada , ml	Volumen Producido ml Acetileno	ml de agua agregada	Moles de Acetileno	Moles de CaC <sub>2</sub>	Orden 1		Orden0
							CaO/Ca	ln CaO/Ca	CaO-Ca
0	0	0	0	0	0	0.02579		1	0
1	90.7	38.9	38.9	0.1	0.00105	0.02474	1.04246	0.04159	0.00105
2	117.8	43.6	82.5	0.2	0.00223	0.02358	1.09455	0.09635	0.00223
3	153.7	26.1	108.6	0.3	0.00293	0.02286	1.12831	0.12072	0.00293
4	195	37.0	145.6	0.4	0.00393	0.02186	1.17988	0.16542	0.00393
5	233.6	45.2	190.8	0.5	0.00515	0.02064	1.24967	0.22288	0.00515
6	265.4	39.6	230.4	0.6	0.00622	0.01957	1.31796	0.27609	0.00622
7	305	31.8	262.2	0.7	0.00708	0.01871	1.37846	0.32096	0.00708
8	350.2	38.6	300.8	0.8	0.00812	0.01767	1.45970	0.37829	0.00812
9	387.2	41.3	342.1	0.9	0.00924	0.01655	1.55815	0.44350	0.00924
10	413.3	35.9	378.0	1.0	0.01021	0.01558	1.65509	0.50386	0.01021
11	456.9	27.1	405.1	1.1	0.01094	0.01485	1.73666	0.55196	0.01094
16	495.8	90.7	495.8	2.1	0.01339	0.01240	2.07967	0.73221	0.01339

Tiempo vs Ln CaO/Ca Orden 1



Desviación Estandar: 0.2191  
Correlación: 0.9966

CONDICIONES DE OPERACION:

Temperatura: 69 °C

Presión atmosférica: 578 mmHg

El resto de los datos experimentales se encuentran en el Anexo 1.

Según la grafica, se puede observar que la constante de reacción es de  $0.0484 \text{ min}^{-1}$ .

De los valores experimentales, se llegó a un valor promedio de  $0.0645 \text{ min}^{-1}$ .

Con este valor se llevaron a cabo los cálculo para el dimensionamiento del reactor.

### ***DESCRIPCION DEL REACTOR:***

El análisis del sistema, es para un reactor generador de acetileno base seca, a partir de la reacción entre carburo de calcio y agua. Se obtienen como producto el acetileno y como subproducto hidróxido de calcio con un porcentaje de humedad del 10% aproximadamente.

El generador consta de un cilindro vertical y seis platos de reacción. Cada uno de estos platos y sus componentes se considera como una etapa del reactor.

Cada etapa tiene una ranura de salida, además de tener una zona de mojado (espreado de agua). La etapa cuenta igualmente con una zona de reacción delimitada por la zona de mojado y la ranura de salida. El  $\text{CaC}_2$  es distribuido por la zona de reacción por medio de la pala distribuidora, aumentando así su tiempo de reacción, para después ser recolectado por la 2ª pala y empujado hasta la ranura de salida. Una vez que llega a

la ranura de salida, caerá la mezcla de carburo de calcio, agua e hidróxido de calcio a la siguiente etapa. La ranura de salida de cada plato, está desplazada angularmente a la ranura de salida del plato inferior, para que el carburo de calcio que llega al plato inferior, atraviese todo el plato antes de llegar a la próxima ranura de salida.

Se agrega la cantidad de agua necesaria para que se lleve a cabo la reacción en su totalidad, considerando además el 10 % de la humedad que contiene el hidróxido de calcio en la salida, y una cantidad adicional para la evaporación y disipación de parte del calor de reacción.

En los primeros cuatro platos se adiciona una cantidad controlada de agua tal, para que se lleve a cabo la reacción en su totalidad al llegar al último de estos cuatro platos. Los dos platos subsiguientes servirán para incrementar el secado del hidróxido de calcio. De igual manera estos platos podrán ser usados como etapas de reacción, en caso de que los datos experimentales de operación demuestren la necesidad de un mayor número de etapas.

Una vez que la reacción se ha realizado en todos los platos, el subproducto cae a un arcón de almacenamiento temporal, antes de ser sacado por medio de un tornillo sinfín.

Otro punto que se contempla en este análisis es el sistema de enfriamiento del reactor. El sistema de enfriamiento consta de un enchaquetamiento con paso de agua de enfriamiento. El reactor también contempla el paro automático por incremento excesivo de temperatura o presión, contando con un sistema de seguridad como válvula de relevo con disco de ruptura calibrado a 24 bar . Por otro lado, en caso de que exista un paro por emergencia, se abre la válvula de relevo, y se para la alimentación de carburo de calcio.

El reactor cuenta con un sistema de alimentación semicontinua de carburo de calcio. Es decir, la alimentación del carburo de calcio se lleva a cabo cada vez que la segunda pala (pala recolectora) pasa por la zona de alimentación. Se agregan cantidades medidas de carburo de calcio cada determinado tiempo (4.5 minutos), que reacciona con la cantidad medida de agua adicionada en cada zona de mojado de los platos. La mezcla es esparcida por la zona de reacción por medio de la pala distribuidora para luego ser recolectada y empujada por la pala recolectora, hasta la ranura de salida.

Así mismo el hidróxido de calcio se remueve constantemente del sistema, por lo que el reactor no requiere de paros para la remoción del hidróxido de calcio. Esto nos proporciona la capacidad de operación continua del reactor.

En paros programados, se detiene la alimentación de carburo de calcio, se ventea el reactor con nitrógeno, y quedaría en disposición para mantenimiento.

En el diagrama 4 se presenta un corte vertical del reactor.

En el diagrama 5 se puede observar las secciones en que se divide un plato del reactor.

En el diagrama 6 se presentan los seis platos del reactor.

Diagrama No. 4.- Descripción del reactor

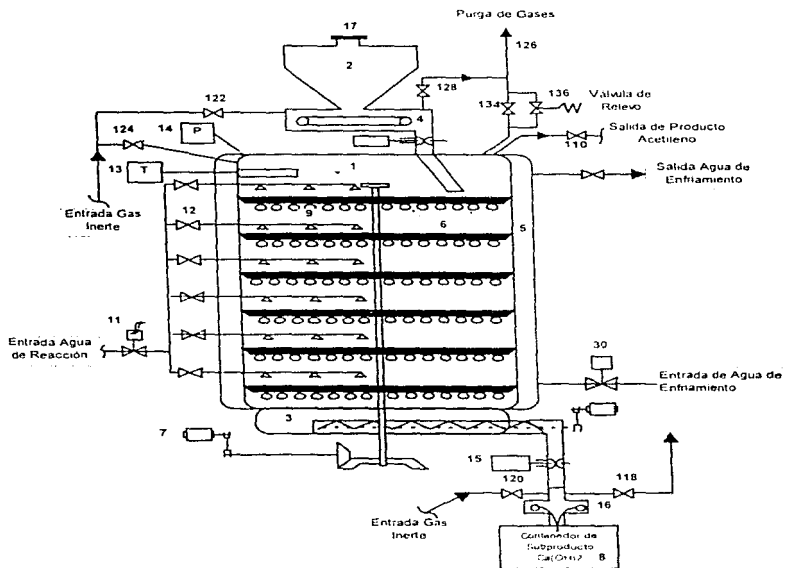
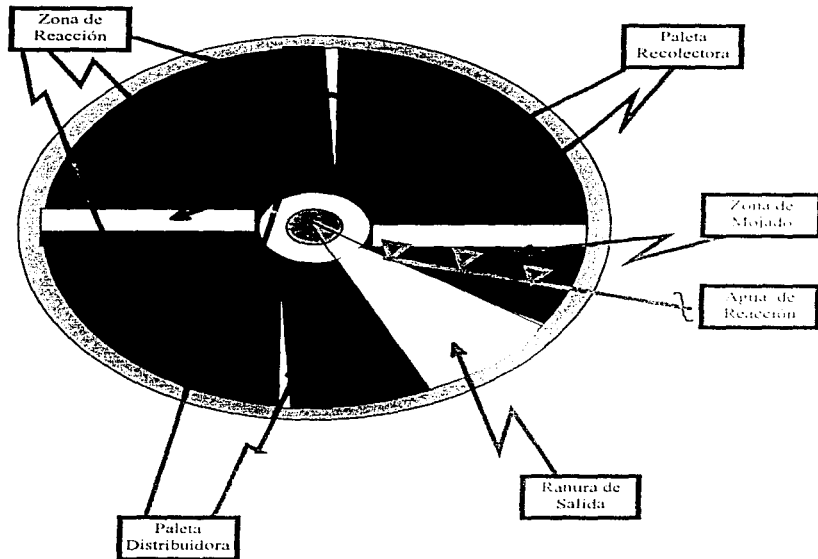
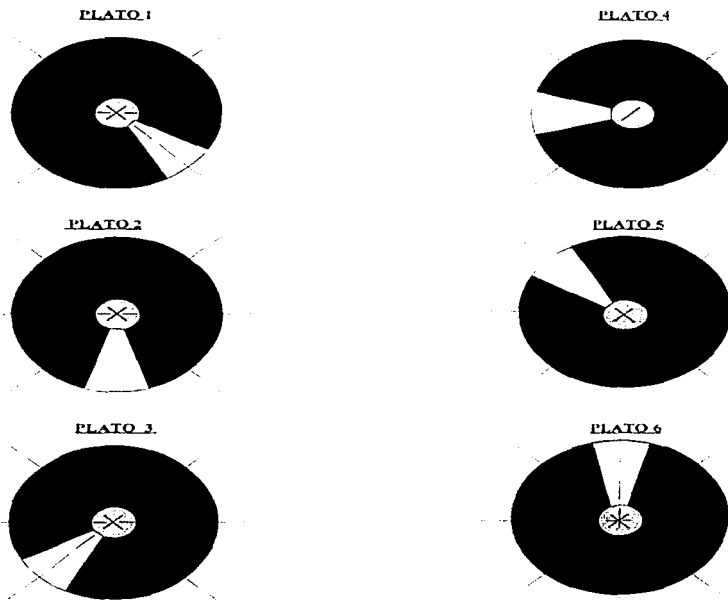




DIAGRAMA 5.- DESCRIPCIÓN DE PLATOS DE REACCIÓN



**DIAGRAMA 6.- DETALLE DE POSICIÓN PLATOS DE REACCIÓN**



### **DESCRIPCIÓN DEL REACTOR**

El reactor generador de acetileno vía seca analizado en este trabajo cuenta con un cárter (1) dentro del cual se alimenta carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ) por medio de una tolva (2) que se encuentra por arriba del cárter. Dentro de éste se lleva a cabo la reacción entre el  $\text{CaC}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , produciéndose acetileno  $\text{C}_2\text{H}_2$  e hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ . El subproducto,  $(\text{Ca(OH)}_2)$  se recolecta en un depósito de almacenamiento temporal (3), que se encuentra en la parte inferior del cárter. La tolva incluye una apertura superior por la cual entra una carga de  $\text{CaC}_2$ , saliendo por la parte inferior a través de una cámara interna de alimentación (4) y finalmente un tobogán de alimentación que permite la entrada del  $\text{CaC}_2$  al cárter. La cámara de alimentación cuenta con una banda transportadora de carburo de calcio que se encarga de proporcionar la materia prima al tobogán de alimentación. La banda transportadora es impulsada por cualquier método mecánico, a una velocidad tal que proporcione la cantidad necesaria de  $\text{CaC}_2$  según los requerimientos de capacidad del reactor. El tobogán cuenta con un válvula pinch que tiene un dispositivo de cerrado elástico; esta válvula puede ser accionada hidráulicamente. También se puede utilizar un sistema rotatorio de alimentación, o bien una placa con figura de ocho en línea con la válvula.

El cárter del reactor es un cuerpo largo en forma de cilindro, por lo que cuenta con una grán area utilizable para la remoción del calor producido durante la reacción. El

sistema de enfriamiento (5) consta de un enchaquetamiento del reactor con paso de agua. Así mismo, los platos cuentan con su propio sistema de enfriamiento, que consta de pequeños tubos (6) que pasan por la parte inferior de los platos, y cuentan con un flujo de agua de enfriamiento.

El reactor cuenta con un número determinado de platos donde se lleva a cabo la reacción. Dependiendo de la capacidad del reactor será el número de platos, así como la velocidad de las paletas mecánicas recolectoras de la mezcla carburo-hidróxido-agua. Los platos tienen la capacidad para sostener esta mezcla. Cada plato tendrá un número determinado de palas. Hay dos tipos de palas que serán utilizadas: unas tienen la función de distribuir la mezcla en la zona de reacción y las otras tienen la función de recolectar y empujar la mezcla a la ranura de salida del plato. Estas palas son movidas mecánicamente por un motor (7) que se encuentra en la parte inferior del cárter.

Dependiendo de la cantidad de mezcla reaccionante, el tamaño del carburo de calcio agregado, y del tamaño del reactor, se deberán considerar una mayor o menor cantidad de palas recolectoras. En el caso particular del diseño de este reactor, se consideran cuatro palas por plato, dos pala distribuidoras y dos recolectoras intercaladas.

Las palas distribuidoras serán posicionadas en cada plato dejando un espacio entre el plato y la pala. A su vez, la pala distribuidora tendrá una inclinación de 70° aproximadamente con respecto al plano del plato.

Por su lado, las palas recolectoras tendrán una forma semicircular para recolectar y empujar la mezcla de carburo de calcio-agua-hidróxido de calcio.

Cada plato contiene una ranura de salida que se encuentra angularmente desplazada de la ranura de salida del plato superior. Esto es necesario para que la mezcla reaccionante caiga al plato siguiente después de haber recorrido todo el plato anterior.

Al llegar al último plato, el hidróxido de calcio caerá a un depósito de almacenamiento temporal con un tornillo sinfín. Este subproducto es transportado por medio del tornillo hasta un contenedor.

Cada plato está provisto de una serie de atomizadores de agua (9), para agregar la cantidad de agua necesaria. Estos atomizadores están en lo que se denomina la zona mojada, que está inmediatamente después de la zona de recepción del carburo de calcio. Es decir, el carburo de calcio cae al plato, es empujado por las palas mecánicas, y se moja por medio de los atomizadores. La mezcla reaccionante es distribuida a lo largo de la zona de reacción por la pala distribuidora. Le sigue la pala recolectora que empuja la

mezcla hasta la ranura de salida , donde cae al siguiente plato y se lleva a cabo de nuevo el proceso de mojado, distribución , reacción y salida.

La cantidad agregada de agua es tal, para mojar y reaccionar con el carburo de calcio expuesto por las palas en cada plato. El movimiento de las palas permite descubrir nuevas áreas del carburo de calcio que aún no hayan reaccionado. Para cuando el carburo de calcio esté por salir del último plato, deberá haber sido agregada la cantidad de agua tal, para que el hidróxido de calcio producido no tenga un porcentaje de agua mayor al 12 %.

Por otro lado, el acetileno producido durante la reacción, sale constantemente del reactor por medio de una válvula (110).

La cantidad de agua de reacción es regulada al principio de la tubería por una válvula selenoide eléctrica (11) para llegar al cabezal de distribución del agua y por lo tanto a los cabezales de alimentación a las espreas de cada plato. Los cabezales de alimentación a las espreas están a su vez controlados por una válvula de estrangulamiento (12) . Dado que el área de reacción del carburo de calcio es mayor en los primeros platos que en los últimos, es necesario agregar una cantidad mayor de agua en los primeros platos que en los últimos. Por lo tanto, en el primer plato se agregará el

50% de la cantidad total del agua de reacción. En los platos 2 y 3 se adiciona el 20 % respectivamente, y finalmente, en el plato 4 se adiciona el 10% restante del agua.

La válvula selenoide eléctrica estará interconectada con un switch de presión y a un termostato (13). El termostato estará también interconectado con la alimentación del carburo de calcio. Por lo tanto habrá un flujo de agua solo cuando el alimentador de carburo esté en operación, cuando la presión del reactor no sobrepase los límites de disparo del switch de presión (14) (este valor de disparo por alta presión es generalmente 27 bar ), y cuando la temperatura dentro del reactor no sobrepase el límite de disparo del termostato, siendo ésta 90 °C . En caso de que alguno de los valores de presión o temperatura sobrepase sus valores de disparo, se parará automáticamente la alimentación del carburo de calcio, y se generará una alarma visual y auditiva, seguida por el relevo de la válvula de alivio (136).

El hidróxido de calcio seco se recibe por el tornillo sinfín y es transportado por un ducto a través de una válvula pinch (15), operada hidráulicamente. Cuando esta válvula está abierta, el hidróxido de calcio caerá a un contenedor. Los contenedores son reemplazados cuando se llenan por contenedores vacíos. El contenedor estará acoplado a la descarga del ducto por un sello de presión (16) que puede ser un empaque neumático de sellado. Este empaque es inflado con aire para juntar el contenedor con el reactor. Esto impedirá cualquier fuga de acetileno del sistema.

Así mismo, en la parte superior del sistema de alimentación de carburo de calcio se encuentra un tapa selladora de presión (17) para prevenir cualquier posible escape de acetileno hacia la zona de carga de carburo de calcio.

El reactor contará con una gran cantidad de válvulas para controlar el flujo de gases a través de las tuberías, tanto para la ventilación de los gases dentro del generador, como para purgar el sistema durante paros, arranques, y diferentes etapas de operación del reactor.

La válvula 118 ventea el acetileno del contenedor(8) antes de ser cambiado por uno vacío. Por otro lado, la válvula 120 admite gas inerte (Nitrógeno) para purgar cualquier cantidad residual de acetileno. De igual manera, las válvulas 122 y 124 admiten gas inerte al sistema de alimentación y al interior del generador respectivamente, para purgarlos durante el arranque del reactor

El reactor cuenta con una línea de venteo 126, conectando la purga del sistema de alimentación y la purga del reactor, siendo estas purgas controladas necesariamente por las válvulas 128 y 134 respectivamente. Es indispensable que el sistema de purga del reactor cuente con una válvula de relevo 136 que se abrirá en caso de sobrepresión del reactor.





## ***CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN***

### **Arranque:**

Las válvulas pinch 24 y la 15 se encuentran abiertas. Se remueve la tapa selladora de presión (17) del tanque de alimentación de carburo de calcio (2). Este tanque será llenado con carburo de calcio seco. Se instala nuevamente la tapa para evitar fugas.

Las válvulas de venteo 118, 128, y 134 están abiertas. Posteriormente se abren las válvulas 120,122, y 124 para admitir nitrógeno, purgando así el aire del sistema. Una vez que el sistema contenga una atmósfera inerte, se cierran estas válvulas (120,122 y 124).

Se energiza el motor (7) para que comience el movimiento de la flecha y por consiguiente, las palas distribuidoras y recolectoras de carburo de calcio.

Simultáneamente, se ponen en movimiento el sistema de alimentación (4) y se energiza la válvula selenoide de dosificación de agua (11), y se pone en movimiento el tornillo sinfin de descarga (3).

Cuando se arranca el sistema de alimentación (4), el carburo de calcio pasa por el ducto de alimentación y es depositado en la zona de depósito del plato inicial. Las palas distribuidoras al girar, transportan y distribuyen la mezcla de la zona de mojado, donde entra en contacto con el agua de reacción de las espreas, a través de la zona de reacción. En este momento se inicia la reacción. El carburo de calcio será transportado a través de la zona de reacción hasta la ranura de salida por las palas recolectoras. El carburo de calcio cae al siguiente plato en la zona de depósito. En esta etapa se llevará a cabo el mismo proceso que en el anterior, hasta llegar al último plato. Después de éste, el hidróxido de calcio cae a un depósito de almacenamiento temporal para salir posteriormente por medio el tornillo sinfin a un contenedor.

El diseño de los platos y la velocidad de las palas permitirán que el carburo de calcio tenga el tiempo de residencia suficiente para que reaccione en su totalidad. Será necesario controlar la cantidad de agua adicionada para que sea la cantidad estequiométrica de la reacción, además del 10% de contenido de humedad contenido en el  $\text{Ca(OH)}_2$ , y el agua evaporada durante la disipación del calor.

Una vez que la atmósfera del reactor sea 100 % de acetileno, las válvulas de venteo 118, 128 y 134 son cerradas y la válvula 110 abierta para permitir la salida del acetileno.

El subproducto será transportado por medio del tornillo sinfín hasta el ducto de salida. El hidróxido de calcio es recolectado en un contenedor (8). Una vez que esté lleno, se puede accionar la válvula pinch 15 para detener el flujo del hidróxido de calcio y aislar el contenedor del resto del reactor.

La válvula 118 será abierta para ventear el acetileno que pueda estar presente en el arcón.

De igual manera, la válvula 120 es abierta para purgar el acetileno contenido en el volumen inferior de la válvula pinch. Esta purga se hace metiendo nitrógeno. Una vez que se haya purgado el acetileno, el sello de presión 16 será desinflado para poder desacoplar el contenedor del ducto. El contenedor, será cambiado por otro vacío, conectándolo al reactor nuevamente. De esta manera, la descarga del hidróxido de calcio seco se lleva a cabo sin necesidad de parar la operación del reactor.

Así mismo, cuando la tolva (2) se vacíe y se requiera la adición de carburo de calcio, es necesario desactivar el sistema de alimentación y cerrar la válvula pinch 24 para sellar la tolva del reactor. El acetileno es purgado al abrir la válvula 128 para purgar la parte superior del sistema. Se remueve la tapa del sistema de alimentación 17 y se agrega el carburo de calcio. Se tapa el sistema de alimentación, y se agrega nitrógeno por

medio de la válvula 122 . La atmósfera inerte es sustituida por acetileno al abrir la válvula pinch 24. Cuando el nitrógeno haya sido venteado por la tubería 126, la válvula 128 será cerrada. Este procedimiento permite cargar el reactor con carburo de calcio sin interrumpir las operaciones de generación de acetileno.

La temperatura dentro del reactor se incrementa durante la reacción del carburo de calcio con el agua. El switch de control termostático (13) detecta el aumento en la temperatura de los gases. Cuando la temperatura aumenta hasta ciertos valores predeterminados, la válvula selenoide 30 se energiza para alimentar de agua al sistema de enfriamiento (5) y así mantener la temperatura apropiada para la operación del reactor.

En caso de que la temperatura siga aumentando ,o bien en caso de que la presión dentro del reactor sea mayor a un valor de seguridad, el switch de control termostático o el switch de control de presión, respectivamente, mandan una señal para detener la operación del reactor, además de prender la señal de alarma, y abrir la válvua de relevo.

### **ANALISIS DEL SISTEMA.**

El análisis de este reactor considera la generación de gas acetileno a partir de carburo de calcio en un generador multietapas, base seca.

El reactor tiene la ventaja que dentro de las etapas (platos) existe un mezclado constante, permitiendo que nuevas áreas del carburo de calcio entren en contacto con el agua, para reaccionar, produciendo así más acetileno. El subproducto que se obtiene es hidróxido de calcio seco.

Este sistema de producción de acetileno base seca, se contraponen a los generadores base húmeda, donde se hace reaccionar una cantidad de carburo de calcio con un exceso de agua, resultando como desecho un lodo de hidróxido de calcio con contenidos entre 35 y 70 % (w/w) de agua.

Este lodo se debe lavar del reactor con una cantidad de agua tal para que pueda fluir a través de las tuberías, y llegar finalmente a alguna laguna de sedimentación o secado. Además en ese proceso es difícil la separación del agua y del lodo, por lo que el desecho se dispone de alguna forma poco conveniente.

Por otro lado la eficiencia del proceso base húmeda es más baja, dadas las pérdidas de acetileno por disolución con el agua presente en el reactor.

Cabe mencionar que el reactor aquí analizado es continuo a diferencia de los reactores base húmeda, que trabajan por lotes. La continuidad consta en la adición constante de carburo de calcio y agua, y en la remoción constante del producto (acetileno) y el subproducto (hidróxido de calcio).

El carburo adicionado entra en contacto con el agua agregada en cada plato (zona de mojado), y es pasado después a una zona de reacción. Los platos cuentan con brazos rotatorios que ayudan a renovar las áreas del carburo que no han reaccionado y que reaccionarán al caer al siguiente plato y entrar en contacto con la cantidad de agua ahí adicionada. Después del último plato, el residuo no deberá tener más del 3% (w/w) de carburo de calcio, sino hidróxido de calcio con una humedad aproximada del 10 %.

Es decir el carburo de calcio cae al primer plato, pasa por la zona de mojado, dónde es adicionada una cantidad medida de agua. La mezcla reaccionante de carburo de calcio, agua, e hidróxido de calcio es distribuida por la pala distribuidora en la zona de reacción. La pala recolectora se encarga de recolectar y transportar la mezcla hasta la ranura de salida, cae al siguiente plato. En la siguiente etapa será agregada otra cantidad de agua, donde reaccionarán las nuevas áreas expuestas del carburo de calcio. El agua

será capaz de alcanzar toda el área del carburo de calcio hasta que la reacción se haya llevado a cabo en su totalidad, durante las 6 etapas del reactor.

El reactor produce en forma continua el acetileno, removiéndolo el producto y subproducto constantemente, además de agregar de forma constante una cantidad medida de carburo de calcio y agua.



**Dimensionamiento del Reactor:**

El dimensionamiento del reactor dependerá de la cantidad de carburo de calcio que se le alimente.

La producción de carburo de calcio en México es de 67 T/día. Es decir, la producción anualizada es de 24,455 T/A. De esta cantidad producida, aproximadamente el 40 % , 9,782 T/A , se exportan a latinoamérica principalmente. Por lo tanto la cantidad de carburo de calcio que se queda en el país es de 14,673 T/A. Prácticamente no hay importación de  $\text{CaC}_2$ .

Actualmente existen en México 32 plantas que producen acetileno a partir de carburo de calcio. Consideramos el consumo promedio de las plantas como 460 T/A. Esto quiere decir que se estarían alimentando 52.5 Kg/hr de carburo de calcio al reactor industrial.

El reactor aquí analizado sería de un tamaño equivalente al 2 % del tamaño del reactor industrial. Por lo tanto para el reactor analizado, la alimentación de carburo de calcio sería de 1002 gr/hr , es decir 16.7 gr/min. De igual manera se estarían alimentando 25.90 ml/min de agua.

La generación aproximada de acetileno sería de 5.78 litros/min y 17.50 gr/min de carburo de calcio con un contenido aproximado de 10 % de humedad.

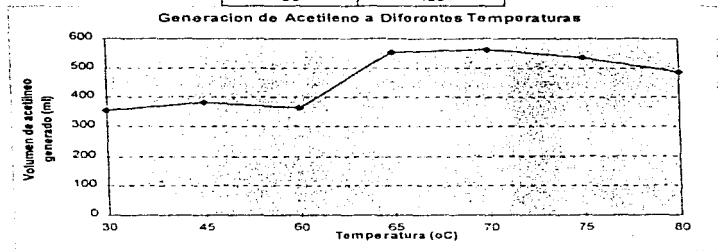
**CONDICIONES DE OPERACION:**

Se hará un análisis de las variables que afectan la operación del reactor, así como los balances de materia y energía necesarios.

Cabe mencionar que las condiciones de operación tales como la presión y temperatura fueron tomadas de procesos similares encontrados en la bibliografía.<sup>1</sup>

**Temperatura de Operación:**

Temperatura de Reacción (°C)	Volumen de Acetileno Generado (ml)
30	356.3
45	381.4
60	363.3
65	554.4
70	563.6
75	534.8
80	486



<sup>1</sup> [1, 8]

**Condiciones de Operación del reactor de acetileno via seca.**

**Condiciones de operación:**

Temperatura	70 °C
Presión	16 bar
Presión Interna de operación	15 bar

**Alimentación:**

Carburo de Calcio	75 gr	<b>Flujos:</b>
Tiempo entre dosificación CaC <sub>2</sub>	4.5 minutos	16.67 gr/min
Alimentación de CaC <sub>2</sub>	16.67 gr/min	24.00 Kg/día
Agua de Reacción	41.67 ml	9.26 ml/min
Agua para disipación de calor:	52.76 ml	11.73 ml/min
Agua residual en Ca(OH) <sub>2</sub>	8.56 ml	1.90 ml/min
Total de agua	103 ml	32.96 litros/día
Alimentación de agua	23 ml/min	
Producción de acetileno	5.73 l/min @ cSPT	3.010 m <sup>3</sup> /año
Producción de Ca(OH) <sub>2</sub>	17.34 gr	3.85
Impurezas en Ca(OH) <sub>2</sub>	7.50 gr	1.67
Humedad de Ca(OH) <sub>2</sub>	10%	
Eficiencia de Reacción	90%	

**Bases de Diseño del reactor:**

Altura:	80 cm	
Diámetro	35 cm	
Volumen	77 litros	
L/D	2.3	
No. de platos	6	
No. de paletas / plato	4	
Velocidad de paletas	0.34 rpm	
Tiempo de residencia / plato	5.95 min	
Tiempo de residencia Total	35.70 min	
Presión de disparo	20 bar	
Temperatura de disparo	90 °C	
Constante de reacción, k	0.0845 min <sup>-1</sup>	
Adición de Agua en 1er Plato	51.50 ml	11.44 ml/min
Adición de Agua en 2o Plato	20.60 ml	4.58 ml/min
Adición de Agua en 3er Plato	20.60 ml	4.58 ml/min
Adición de Agua en 4o Plato	10.30 ml	2.29 ml/min
Adición de Agua en 5o Plato	- ml	- ml/min
Adición de Agua en 6o Plato	- ml	- ml/min
Calor de Reacción	31 Kcal/mol	129 kJ/mol
Calor Generado en 1er Plato	16.19 Kcal	3.60 Kcal/min
Calor Generado en 2o Plato	6.48 Kcal	1.44 Kcal/min
Calor Generado en 3er Plato	6.48 Kcal	1.44 Kcal/min
Calor Generado en 4o Plato	3.24 Kcal	0.72 Kcal/min

Análisis de un Sistema para Producir Acetileno Base Seca

---

Calor Generado en 5o Plato	- Kcal	- Kcal/min
Calor Generado en 6o Plato	- Kcal	- Kcal/min
Calor Total Generado	32 4 Kcal	7.20 Kcal/min
Calor Disipado por Evaporación	35 1 Kcal	7.80 Kcal/min

**Balance General de Energía**

Entrada	5.7 kcal	1.28 Kcal/min
Salida	-37.1 kcal	-8.24 Kcal/min
Calor de reacción	32 5 kcal	7.22 Kcal/min
Calor Generado Total	1.1 kcal	0.25 Kcal/min
Calor Especifico Agua	1.00 Cal/(gr °C)	
Calor sensible de evaporación H <sub>2</sub> O	540 Cal/gr	
Temp. evaporación H <sub>2</sub> O @ 1.15 bar	102 °C	
Temperatura de entrada CaC <sub>2</sub>	30 °C	
Temperatura de salida de productos	75 °C	

**Balance de Energía para Sistema de Enfriamiento**

Entrada	30 °C	
Salida	35 °C	
Flujo (lts/min)	0.8 LPM	
Calor disipado teorico:	4000 Cal /min	16748 J/min
Coef. de Trans. de calor U	40 BTU/(hr*ft <sup>2</sup> *°F)	454 KJ/(hr*m <sup>2</sup> *°C)
Area transferencia requerida	0.60 m <sup>2</sup>	
Area disponible del Reactor	0.88 m <sup>2</sup>	
Calor disipado Agua Enfto	266 kJ/min	64 kcal/min

El reactor tiene la capacidad de disipar todo el calor generado durante la reacción. Por lo que el sistema de enfriamiento aquí propuesto, podrá ser considerado cuando se lleve el reactor a una escala mayor.

A continuación se presentan los balances de materia y energía:

- Balance de materia:

El flujo de alimentación de Carburo de Calcio ha sido estimado para 75g / 4.5min

Algunas de las consideraciones para el balance de materia:

1. Cada etapa del reactor funciona como una etapa de reacción homogénea, sin variación de volumen, y con agitación continua.
2. La fórmula para el balance de materia es: Masa de entrada = Masa de Salida + Masa Acumulada.

Para el caso del reactor y según la reacción:



Para una eficiencia del 100%, sin acumulación de materia:

Moles de entrada \* Peso molecular entrada = moles de salida \* Peso molecular salida, o bien:

$$(\text{Moles de entrada CaC}_2) * (64 \text{ gr/mol}) + (\text{Moles de entrada H}_2\text{O}) * (18 \text{ gr/mol}) = (\text{Moles de salida C}_2\text{H}_2) * 26 \text{ gr/mol} + (\text{Moles de salida Ca(OH)}_2) * (74 \text{ gr/mol})$$

El balance de materia del reactor está dado por los siguientes valores a diferentes eficiencias:

Balance de Materia en moles

Moles de entrada		Moles de salida				Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%	
1.172	5.72	0.00	3.376	1.172	1.172	100%	
1.172	5.72	0.06	3.4932	1.1134	1.1134	95%	
1.172	5.72	0.12	3.6104	1.0548	1.0548	90%	
1.172	5.72	0.18	3.7276	0.9962	0.9962	85%	

Balance de Materia en gramos

Gramos de entrada		Gramos de salida				Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%	
75	103	0	61	30	87	100%	
75	103	4	63	29	82	95%	
75	103	8	65	27	78	90%	
75	103	11	67	26	74	85%	

**Balance de materia por etapas.-**

La cantidad de agua adicionada en cada etapa de reacción puede ser manejada a diferentes flujos, con la finalidad de obtener con datos reales de operación, la alimentación óptima de materia prima, así como las eficiencias reales del reactor.

Se utilizan para el balance por etapas, las cantidades obtenidas según el balance general de materia:

**Plato 1**

Moles de entrada		Moles de salida			Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%
1.17	2.86	0.592	1.9	0.58	0.58	100%
1.17	2.86	0.622	1.995	0.551	0.551	95%
1.17	2.86	0.651	2.090	0.522	0.522	90%

**Plato 2**

Moles de entrada		Moles de salida			Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%
0.59	1.144	0.36	0.76	0.23	0.23	100%
0.59	1.144	0.378	0.798	0.2185	0.2185	95%
0.59	1.144	0.396	0.836	0.207	0.207	90%

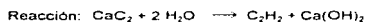
**Plato 3**

Moles de entrada		Moles de salida			Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%
0.36	1.144	0.36	0.76	0.23	0.23	100%
0.36	1.144	0.378	0.798	0.2185	0.2185	95%
0.36	1.144	0.396	0.836	0.207	0.207	90%

**Plato 4**

Moles de entrada		Moles de salida			Eficiencia	
CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	%
0.13	0.572	0	0.35	0.13	0.13	100%
0.13	0.572	0.0065	0.368	0.124	0.124	95%
0.13	0.572	0.013	0.385	0.117	0.117	90%

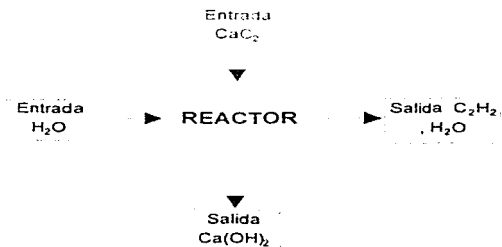
**BALANCE DE ENERGIA**



	Temperatura (°C)		Flujo Molar (mol/min)		Cp (Cal/°C gr)	Energia (cal)		Calor de Reacción
	Entrada	Salida	Entrada	Salida		Entrada	Salida	
CaC <sub>2</sub>	25	70	1.172	0.117	0.33	1128.64	112.8636	129 kJ/mol
H <sub>2</sub> O	25	70	5.700	0.433	1	-4617.00	350.73	31 kcal/mol
H <sub>2</sub> O (g)		102		3.160	540		35094.96	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	25	70		1.055	0.42		518.43	
Ca(OH) <sub>2</sub>	25	70		1.055	0.29		1018.814	32.49332 kcal

Energia	
Entrada	5.75 kcal
Reaccion	32.49 kcal
Salida	-37.10 kcal

**BALANCE DE ENERGIA**



**Conclusiones:**

- En el presente trabajo se realizó un análisis de un sistema de producción de acetileno a partir de carburo de calcio y agua. El reactor generará una cantidad aproximada de 32.42 lts/min, es decir 46.7 m<sup>3</sup>/día a 25°C y 1.013 bar de acetileno, y 141.72 Kg/día de hidróxido de calcio con un porcentaje de humedad aproximadamente del 10 % (w/w).
- Los reactores generadores de acetileno vía secca tienen la ventaja sobre los reactores generadores de acetileno vía húmeda que en los primeros se obtienen un producto y un subproducto a diferencia de los segundos, donde se produce sólo acetileno, y se tiene un desecho no utilizable que es el lodo de hidroxido de calcio con un contenido de agua aproximado entre 35-75 % (w/w).
- Así mismo, el reactor generador de acetileno base secca trabaja en forma continua. Es decir, tiene la capacidad de producir acetileno continuamente, sin tener que trabajar por lotes. Esta ventaja es importante tanto para la seguridad como para la operación y la producción, además que por contar con los controles aquí descritos, requiere de atención menor que los reactores generadores de acetileno base húmeda. El reactor aquí descrito cuenta con todas las medidas necesarias para operar de manera segura.
- El proceso de generación de acetileno base secca, también presenta la ventaja de ser un proceso con menor impacto ambiental que el proceso base húmeda. Esto se debe a la generación de dos productos por la vía secca, contra la generación de un producto y un



desecho por la vía húmeda. Este desecho tiene cierta peligrosidad y puede representar un impacto adverso en el medio ambiente.

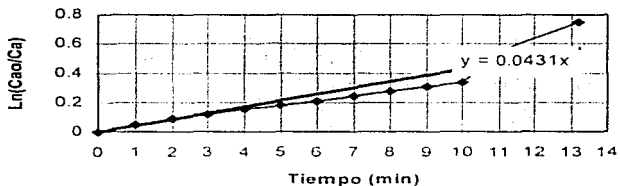
- Así mismo el proceso base seca es más eficiente que el proceso base húmeda. Esto se debe a que en el último hay dilución parcial del acetileno en el agua presente. Esta dilución se convierte en pérdidas que representan entre un 1.4 y 2.8 % de la producción total.
- Se presentó un reactor para producir acetileno base seca, por lo que se recomienda que para el desarrollo final de un generador de acetileno base seca a escala industrial se deberán realizar varios pasos más. Dentro de las etapas siguientes será necesario llevar a cabo simulaciones y análisis de sensibilidad de condiciones de operación para obtener las suficientes bases para desarrollar un reactor piloto como el aquí propuesto. Con este reactor se harán las pruebas piloto necesarias para obtener una cantidad apreciable de datos experimentales. Con estos datos y con la información obtenida por medio de simuladores, se podrá optimizar las características y condiciones de operación y control del reactor. Finalmente se deberá hacer el trabajo final para la escalación industrial del reactor piloto.

**ANEXO I.- DATOS EXPERIMENTALES:**

Corrida No.1

Agua agregada ml	Tiempo min	Volumen de agua desplaza	Volumen producido ml acetileno	Concentración $CaC_2$	
				Ca	Ln $CaO/Ca$
-	-	-	-	0.0268	-
0.50	1	520.30	45.70	0.0256	0.0475
0.50	2	474.60	40.20	0.0245	0.0912
0.50	3	434.40	25.20	0.0238	0.1196
0.50	4	409.20	32.30	0.0229	0.1572
0.50	5	376.90	19.40	0.0224	0.1805
0.50	6	357.50	23.70	0.0217	0.2097
0.50	7	333.80	27.40	0.0210	0.2446
0.50	8	306.40	24.90	0.0203	0.2774
0.50	9	281.50	22.80	0.0197	0.3084
0.50	10	258.70	21.60	0.0191	0.3386
0.50	11	237.10	130.40	0.0156	0.5439
0.50	13	106.70	106.70	0.0127	0.7503

**Tiempo vs. Ln( $CaO/Ca$ )**



Desviación Estandar: 0.2061

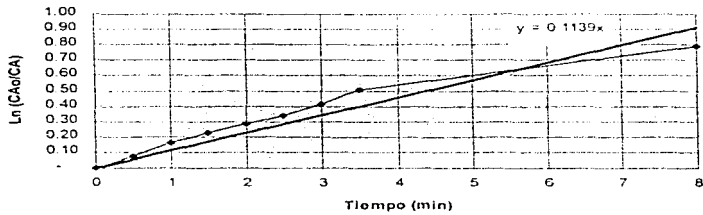
Correlación: 0.9376

Análisis de un Sistema para Producir Acetileno Base Seca

Corrida No.2

Agua agregada ml	Tiempo min	Volumen de agua desplaza	Volumen producido ml acetileno	Concentración CaC <sub>2</sub>	Ln CA <sub>0</sub> /CA
-	-	-	-	0 01875	-
0 50	0 50	276 60	37 20	0 01738	0 07611
0 50	1 00	239 40	38 60	0 01595	0 16173
0 50	1 50	200 80	28 50	0 01490	0 23001
0 50	2 00	172 30	22 00	0 01408	0 28610
0 50	2 50	150 30	19 50	0 01336	0 33860
0 50	3 00	130 80	26 40	0 01239	0 41436
0 50	3 50	104 40	29 60	0 01130	0 50676
	8 00	74 80	74 80	0 00853	0 78726

Tiempo vs Ln CA<sub>0</sub> / CA



Desviación Estandar: 0.2393

Correlación: 0.9738

**BIBLIOGRAFIA.-**

1. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Volume A1. Abrasives to Aluminum Oxide, Ed. VCH., 5ª edición, pp 97-145
2. McKeta, Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Tomo 1, Acetylene and Derivatives, EE.UU., pp. 363-382.
3. Lerch, John A., United States Patent, No de Patente 4,451,268, Mayo 29,1984, Dry Acetylene Generator.
4. McKeta, Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Tomo 4, Lime and Limestone,EE.UU.,pp. 346-790.
5. Ingeniería de la Cinética Química, J.M. Smith, Ed. C.E.C.S.A., 6ª Impresión , 1991, pp. varias.
6. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6ª edición, Ed. McGraw-Hill Inc. , 1991, pp. varias.
7. Handbook of Chemical Engineering Calculations, Nicholas P. Chopey, 2ª edición, McGraw-Hill Inc. , 1993, pp. 5.1- 5.32
8. Villalobos Vargas, Eugenia, Recuperación de lodos de una planta de acetileno, Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM, 1995