**Universidad Nacional de Colombia**

**Primera Evaluacion Parcial**

**Modalidad Formativa**

**Seguridad Industrial**

**Instrucciones:**

1. El parcial se entrega a las 18:00 del dia 5 de septiembre de 2012 y se recoge a las 20.00 del mismo día. Se presenta en grupos de cinco personas. Se entrega resuelto en esfero y en hoja de examen.
2. Se recomienda que se lea cuidadosamente el caso propuesto, se analice el objeto de caso, es decir la solución pedida, criterio y plantee así el curso de acción en las dos horas asignadas. Divida el trabajo eficientemente en el grupo para que el tiempo sea suficiente
3. Para el parcial puede utilizarse lo que se estime conveniente, libros, computadores, conexión web etc. Se recomienda revisar el material de la página del curso

**Caso de aplicación**

**PLANTA DE PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO**

1. **INFORMACIÓN DE ENTRADA**

**1. INTRODUCCION**

El ácido sulfúrico es uno de los químicos industriales más importantes. Es de gran significado, la observación que frecuentemente se hace, es que el per cápita usado de ácido sulfúrico es un índice del desarrollo técnico de una nación. El ácido sulfúrico es importante en casi todas las industrias, y es usada ampliamente en la manufactura de fertilizantes superfosfatos, sales sulfatadas, celofán, rayón, detergentes, ácido clorhídrico, ácido nítrico, tintes, pigmentos, explosivos, refinación de petróleo, en el almacenaje de baterías, en el tratamiento de agua industrial, y en el blanqueado de minerales.

El ácido sulfúrico fue producido por primera vez aproximadamente en el año 1,000 de la era cristiana. Por 18 siglos, el ácido sulfúrico fue preparado por el quemado de salitre con azufre. En el siglo XVIII y XIX, este fue esencialmente producido por una cámara procesadora en la cual el óxido de nitrógeno era usado como un catalizador homogéneo para la oxidación del óxido de azufre. El producto hecho por este proceso era de baja concentración, no era lo suficientemente alto para los muchos usos comerciales.

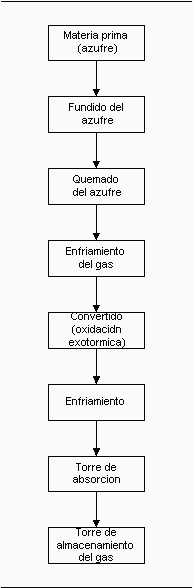
Durante la primera mitad del siglo XIX, la cámara procesadora fue gradualmente reemplazada por el proceso de contacto, y ahora el método anterior es considerado obsoleto. En 1915, un efectivo catalizador de vanadio fue desarrollado para el proceso de contacto. Este tipo de catalizador fue empleado en los Estados Unidos. El catalizador de vanadio tiene la ventaja de una resistencia superior a la intoxicación y de ser relativamente abundante y barata comparado con el platino. Después de la segunda guerra mundial, el tamaño típico de las plantas que realizaban el proceso de contacto se incrementó drásticamente alrededor del mundo suministrando un rápido incremento de la demanda de la industria de fertilizantes de fosfatos.

En el año de 1963, se desarrolla el primer proceso de doble absorción en gran escala. En este proceso, el gas SO2que ha sido parcialmente convertido en SO3por medio del catalizador es refrigerado, pasa a través del ácido sulfúrico para remover SO3recalentado, y luego es pasado a través de una o dos cámaras catalizadores. Por este método, la conversión total puede ser incrementada desde el 98% al 99.5-99.8%, por consiguiente reduciendo la emisión del SO2convertido a la atmósfera.

El proceso de contacto ha sido mejorado en todo detalle y es ahora una de las industrias de bajo costo, con un proceso automático continuo. Todas las nuevas plantas de ácido sulfúrico usan el proceso de contacto. Las pocas plantas de pequeña capacidad emplean la cámara de procesamiento que representan el 5% de las plantas de ácido sulfúrico.

**2. INFORMACION GENERAL DEL PROCESO**

**2.1 DIAGRAMA DE FLUJO**



**2.2 DESCRIPCION DEL PROCESO**

La planta de ácido sulfúrico descrita en la descripción del equipo es diseñada para producir 98% de ácido sulfúrico desde el azufre de 99.5% de pureza con una producción máxima de presión de vapor 17 Kg/Cm2.

1. El azufre es enviado dentro de una tolva medidora de azufre, luego será fundido por una bobina de vapor, el índice de fusión será acelerado por medio de un agitador.
2. El azufre fundido es derramado en los compartimentos de almacenaje de azufre. Dos equipos tipo bombas, serán instalados en el compartimento de almacenaje de azufre del medidor de azufre, uno será operado y el otro será parado.
3. La bomba entregará azufre derretido a través de una línea elevadora de vapor al azufre quemado. Una presión de vapor de 5 Kg/Cm2 será usada para calentar la línea elevadora.
4. El azufre será rociado en la parte superior de la cámara de combustión de azufre. El aire para la combustión será proporcionado por una tolva conducida por un motor eléctrico. El aire de la tolva pasará a través de una torre de secado para precalentar el aire y sobre el azufre quemado para proporcionar el oxígeno necesario para producir el gas SO2.
5. El gas caliente deja al azufre quemado pasar directamente a la tolva de desechos calientes, donde este será enfriado por una temperatura intercambiada con agua de cocción de alta presión para producir vapor saturado. Una porción posterior de vapor será utilizada en la alimentación del calentador de agua. El resto del vapor será enviado a la planta de ácido con una presión límite de 17 Kg/Cm2. La temperatura del gas SO2 entregada a la caldera será controlada por medio de una válvula de ajuste de gas. El gas refrigerado será pasado a través de un filtro de gas caliente para generar la oxidación exotérmica de SO2a SO3en presencia del catalizador de vanadio. El gas convertido entra al intercambiador de calor N¢X1 donde este intercambiará calor con el gas SO2desde la torre de absorción N¢X1, en camino a la conversión.<<<<<<<<
6. El gas convertido, el cual pasa a través del intercambiador de calor N¢X1 será reingresado al convertidor a una temperatura adecuada para obtener una conversión adicional óptima en el segundo paso. El gas liberado en este segundo paso será enfriado a una temperatura adecuada en el precalentador de aire antes de entrar a la torre de absorción N¢X1. Después de la primera sección de absorción, el gas convertido, SO3 será absorbido, el gas SO2pasará al intercambiador de calor N¢X1 y N¢X2, luego reingresará nuevamente al tercer paso. <<<<
7. El gas liberado en el tercer paso será enfriado y diluido con aire refrigerado desde la torre de secado, antes de entrar al paso final (cuarto paso).
8. El gas convertido desde el cuarto paso del convertidor pasará a través de un ahorrador el cual enfriará el gas aproximadamente a 180¢XC, luego tomará lugar en la tubería principal de la torre de absorción N¢X2, la temperatura final del gas entrando a la torre de absorción N¢X2 será aproximadamente de 170¢XC. El calor removido desde el gas por el ahorrador será usado para precalentar la tolva alimentador de agua antes de que este entre a la tolva de desechos calientes.
9. El gas liberado del ahorrador entrará a la torre de absorción N¢X2, donde el SO3, será absorbido en un 98% del ácido circulado, en consecuencia, se incrementará la fuerza del ácido circulado.

3**. DESCRIPCION DE LA PLANTA**

**3.1 CAPACIDAD DE PRODUCCION**

Una unidad de quemado de una serie simple de azufre puede producir 30 toneladas de ácido sulfúrico (98%) por día (capacidad mínima).

**3.2 MANO DE OBRA REQUERIDA**

|  |  |
| --- | --- |
| CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO | PERSONAS/TURNO |
| Cuarto de control | 1 |
| Vigilancia | 1 |
| Analista de laboratorio | 1 |
| Mantenimiento mecánico (1 jefe, 1 asistente) | 2 |
| Instrumentos de electricidad (1 jefe, 1 asistente) | 2 |

**3.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIA PRIMA**

A. MATERIA PRIMA: AZUFRE

Calidad: Un proceso FRASCH

Cantidad: 3,300 Kg. por tonelada métrica de ácido sulfúrico (98%) producida.

B. DILUCIÓN DEL AGUA

Calidad: Agua potable (depende de la calidad de producto requerido)

Cantidad: 186-190 Kg. por tonelada métrica de ácido sulfúrico (98%) producido

**3.4 MAQUINARIA Y EQUIPO**

|  |  |
| --- | --- |
| ITEM | N¢X DE MÁQUINAS |
| Agitador de azufre derretido | 1 |
| Soplador de aire | 1 |
| Tolva de desechos calientes | 1 |
| Precalentador de aire | 1 |
| Ahorrador | 2 |
| Secador de aire de ácido refrigerado | 1 |
| Tanque de absorción del ácido refrigerado | 1 |
| Tanque del producto del ácido refrigerado | 1 |
| Intercambiador de calor N¢X1 | 1 |
| Intercambiador de calor N¢X2 | 1 |
| Filtro de gas caliente | 1 |
| Bomba de transferencia de azufre derretido | 2 |
| Bomba de circulación de ácido | 2 |
| Bomba de circulación de ácido | 2 |
| Bomba alimentador de agua para la tolva | 2 |
| Bomba dosificadora de sulfito | 1 |
| Bomba dosificadora de fosfato | 1 |
| Convertidor | 1 |
| Convertidor | 1 |
| Torre de secado | 1 |
| Torre de absorción N¢X1 | 1 |
| Torre de absorción N¢X2 | 1 |
| Tanque de bombeo de circulación del ácido | 1 |
| Tanque alimentador de agua | 1 |
| Tanque dosificador de sulfito | 1 |
| Tanque dosificador de fosfato | 1 |
| Tanque principal de agua diluida | 1 |
| Tanque de azufre derretido | 1 |
| Quemador de azufre | 1 |
| Pila de salida de gas | 1 |

**3.5 INSTRUMENTOS Y APARATOS DE CONTROL**

A. PROTECCION DE LA PLANTA

* El soplador y las bombas de azufre están unidos, cuando el soplador pare, la bomba de azufre también parará. La bomba de azufre no puede ser reiniciada hasta que el soplador sea primero iniciado.
* La condición de alarma de una caldera de un nivel extremadamente bajo, cerrará el soplador con fuerza hacia abajo, y la bomba de azufre se parará.

B. INSTRUMENTOS DE PROGRAMACION

1. Medidor de potencia de ocho puntos.
2. Medidor de potencia de precisión multipuntos.
3. Caja de interruptores.
4. Indicador de fuerza de ácido para 98% de ácido.
5. Medidor del flujo de agua diluida.
6. Medidor de la presión del vapor.
7. Indicador controlado para el nivel de la tolva de desechos calientes.
8. Indicador del nivel del tanque de bombeo del ácido.
9. Indicador de velocidad de las bombas de azufre con un controlador de velocidad.
10. Analizador SO2con sensores.
11. Indicador de registros del porcentaje de SO2

C. INDICADORES DE ALARMA DE LA PLANTA

1. Nivel alto del tanque de bombeo del ácido.
2. Nivel bajo del tanque de bombeo del ácido.
3. Nivel alto de las tolvas de desechos calientes.
4. Nivel bajo de las tolvas de desechos calientes.
5. Nivel extremo bajo de las tolvas de desechos calientes.
6. Nivel bajo del tanque de agua que alimenta la caldera.
7. Nivel extremo bajo del tanque de agua que alimenta la caldera.
8. Presión baja entregada por la bomba de agua que alimenta la caldera.
9. Bomba de circulación de ácido del motor.

**3.6 GASTOS GENERALES DE PLANTA**

A. AGUA REFRIGERADA

Calidad: Aguas blandas (con pocos minerales)

Presión: 3 Kg/Cm2 mínimo

Cantidad: 1.25-1.35 toneladas métricas/hora de ácido base en temperatura de entrada y salida de agua

B. CALDERA ALIMENTADORA DE AGUA

Calidad: Preferentemente desmineralizada o tratada adecuadamente para las condiciones de vapor de la caldera de desechos calientes

Presión: 4 Kg/Cm2 mínimo

Cantidad: 0.065 m3/tonelada métrica de ácido/hora

C. VAPOR

(a)Para el calentador de agua de la caldera.

Presión: 1.35 Kg/Cm2.

Cantidad: 10 Kg/TM de ácido/hora, asumir que la caldera es alimentada con agua a 20¢XC.

(b)Para el medidor de azufre.

Presión: 8 Kg/Cm2.

Cantidad: 5 Kg/TM de ácido/hora.

D. ELECTRICIDAD

47 KwH/tonelada de ácido producido

Observación: La cantidad total de HP de la planta de ácido sulfúrico es de 189.75 HP excluyendo aquellos motores parados y los motores intermitentes

E. INSTRUMENTOS DE AIRE

Presión: 7 Kg/Cm2.

Tasa de continuidad: 12 m3/hora de aire liberado.

F.PRODUCTOS DERIVADOS

Presión de la caldera en trabajo: 17 Kg/Cm2.

Vapor en bruto desde la caldera: 60 Kg/TM de ácido/hora.

Vapor saturado por disposición del cliente, en el límite de maquinación:

44 Kg/Tm de ácido/hora.

G.AFLUENTES.

(a)Purga de la caldera.

Cantidad: 6 Kg/TM de ácido/hora.

(b)Agua enfriada desde el refrigerador del ácido.

Cantidad: 1.25-1.40 m3/Tm de ácido/hora.

Observación: Estas cantidades de agua pueden ser recuperadas de la torre de refrigeración la cual puede ser usada nuevamente.

(c)Chimenea de gas.

Cantidad: 2.16-2.15 Nm3/TM de ácido/hora (contiene no más del 1% de ácido quemado).

H.MATERIALES REQUERIDOS PARA INICIAR O ARRANCAR

(a)Combustible liviano

Tasa de quemado: 135 Kg/hora máximo

Cantidad total: 10 TM

Presión: 8 Kg/Cm2

(b)Ácido sulfúrico

antidad: 35 TM/hora

Concentración: 98-99% de ácido sulfúrico

**3.7 LOCALIZACION Y AREA DE LA PLANTA**

A. LOCALIZACION DE LA PLANTA

La planta de ácido sulfúrico podría ser ubicada cerca de un suministro de azufre, con una buena facilidad de transporte para el mercado y en una área aceptable para el desecho del afluente del gas.

B. AREA DE LA PLANTA

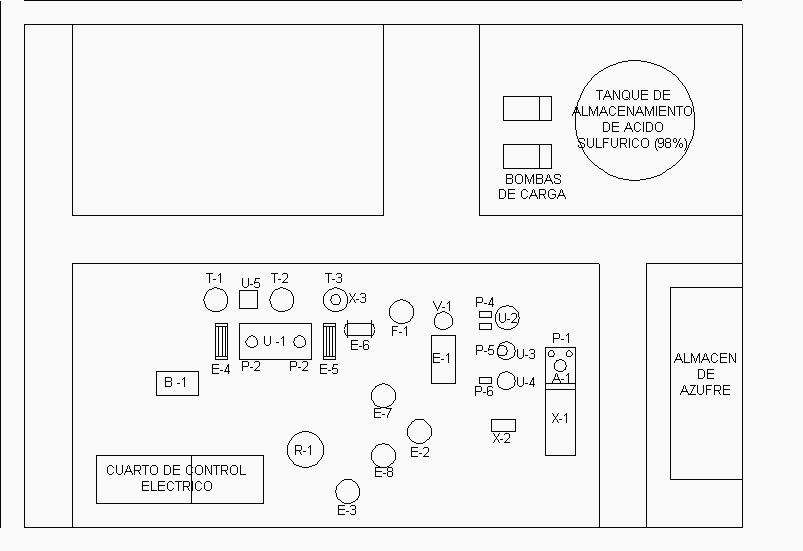
Un mínimo de 3,000 m2 es requerido para una planta de pequeña escala (30 toneladas diarias).

**3.8 EDIFICACION DE LA PLANTA**

La parte más importante de la planta será ubicada en un lugar abierto, pero el cliente podría requerir una subestructura de concreto reforzado para el soporte de las torres de secado y absorción la cual estará en una posición elevada.

Aquella subestructura podría ser enladrillada y subdividido para servir como un cuarto de control y para alojar al equipo de graduado y prueba de bancos, fuelles, interruptor de equipos, bombas de alimentación de calderas, alimentador de agua a la caldera.

**3.9 DISTRIBUCION DE PLANTA**



A-1 Agitador de azufre derretido

B-1 Soplador de aire.

E-1 Caldera de desechos.

E-2 Precalentador de aire.

E-3 Economizador.

E-4 Refrigerador de ácido secado con aire.

E-5 Refrigerador de ácido absorbido.

E-6 Refrigerador de ácido producido.

E-7 Intercambiador de temperatura N¢X 1

E-8 Intercambiador de temperatura N¢X 2

F-1 Filtro de gas caliente.

P-1 Bomba de transferencia de azufre derretido.

P-2 Bomba de circulación de ácido.

P-4 Bomba alimentador de agua para la caldera.

P-5 Bomba dosificadora de sulfito.

P-6 Bomba dosificadora de fosfato.

R-1 Conversor o convertidor.

T-1 Torre de secado.

T-2 Torre de absorción N¢X 1

T-3 Torre de absorción N¢X 2

U-1 Tanque con bomba de circulación de ácido.

U-2 Tanque de agua alimentador de caldera.

U-3 Tanque dosificador de sulfito.

U-4 Tanque dosificador de fosfato.

U-5 Tanque principal de disolución de agua.

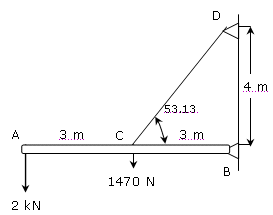
X-1 Tanque de derretido de azufre.

X-2 Quemador de azufre.

X-3 Apilados de gas de salida

**3.10 TRABAJO MÁS PELIGROSO EN LA PLANTA**

Se encontró que el trabajo más peligroso en la planta es el cargue y descargue de materias primas el cual se hace en un sistema colgante manejado por un tripulante que carga el material y con él se eleva para llegar al segundo nivel. (es un trabajo de alturas). La empresa cuenta con un sistema de soporte vital esquematizado en el siguiente diagrama de cuerpo libre:



Canastilla con el operario

Canastilla con la carga

La barra AB es homogénea y tiene un peso de 150 kg con una capacidad de soportar fuerzas hasta de 2 kN. La barra se sostiene por un perno largo ubicado en el punto B y con un cable (C-D) de 10 milímetros de diámetro.

El fabricante del cable ha calculado una curva de resistencia asociada a la probabilidad de fallo la cual se muestra a continuación:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | | --- | --- | | Valor Nominal Mpa | Probabiliad de Fallo | | 42.090,13 | 5% | | 46.766,81 | 5% | | 51.963,12 | 6% | | 57.736,80 | 7% | | 64.152,00 | 7% | | 71.280,00 | 8% | | 79.200,00 | 9% | | 88.000,00 | 10% | | 96.800,00 | 12% | | 106.480,00 | 14% | | 117.128,00 | 17% | | 128.840,80 | 21% | | 141.724,88 | 25% | | 155.897,37 | 30% | | 171.487,10 | 36% | | 188.635,82 | 43% | | 207.499,40 | 52% | | 228.249,34 | 62% | | 251.074,27 | 74% | | 276.181,70 | 89% | | 303.799,87 | 100% | |

A nivel operativo, se ha evidenciado que un evento riesgoso es el superar la carga máxima de la canastilla calculada en 3kN. En inspección al sitio, se encontró que según reportes de producción se utiliza la canastilla no menos de 8 veces al día en la que en la mitad de las veces se superó la carga permitida. La probabilidad que dada una sobre carga haya un accidente, se estima en un 35% por el fabricante.

Leyendo en detalle los reportes del departamento de salud ocupacional, se encuentra que se lleva haciendo seguimiento diario a los eventos en más de mil días por lo que es confiable el histórico llevado por la empresa. Se toman los últimos 100 dias para evaluar los incidentes (es decir en que momentos efectivamente se evidenció que se llevo sobrecarga en el equipo) y se muestran anexos Se estima que la probabilidad relevante en el caso es el que suceda al menos un accidente.

1. **SITUACIÓN GERENCIAL**

Se necesita:

1. calcular la probabilidad **TOTAL** exacta con un margen del 5% que ocurra un accidente en la operación más peligrosa, considerando que los riesgos atribuibles a condiciones ambientales (marginalidad) se estima en un 10%.. (2 puntos)
2. Elaborar un analisis HAZOP basado en la NTP 238 de la planta (2 puntos)

b) Elaborar un analisis FMEA (AMEF de la planta (2 puntos)

1. Realice un análisis del gráfico de control y determine si éste se comporta de forma normal o especial detectando puntos donde haya causas comunes y especiales. (1 punto)