

X. PLANTA PILOTO

10.1 EXPERIMENTACION EN PLANTA PILOTO

La experimentación en planta piloto es la técnica más clásica del diseño de procesos, que surge de la necesidad de obtener información sobre el desarrollo de un proceso. Esta información puede ser acerca de la producción de un producto para probar su aceptación en el mercado, sobre el comportamiento de una reacción en condiciones que no se pueden duplicar en el laboratorio, o sobre el grado de pureza y separación de productos, etcétera.

La actividad de la investigación es la que se lleva más tiempo en el desarrollo de un proceso, y la etapa de experimentación en planta piloto frecuentemente es la más costosa de la actividad de investigación y desarrollo.

En seguida, se muestra el contexto en el cual se sitúa la experimentación en planta piloto:

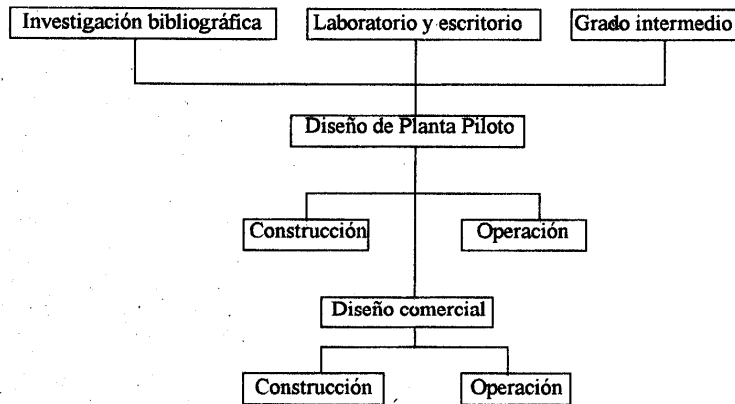


Fig. 11. Desarrollo de un producto químico.

10.1.1 FUNCION Y ALCANCES DE LA EXPERIMENTACION EN PLANTA PILOTO

Debido al alto costo que acarrea la experimentación en planta piloto, es recomendable extender los programas de investigación en el laboratorio y de inversión en el mercado para obtener tantas respuestas como sea posible referentes al diseño de un proceso; es decir, examinar exhaustivamente toda la información disponible acerca de las materias primas y definir, por medio de una investigación de laboratorio, los parámetros que definen la reacción y la secuencia de separación de los productos, a fin de concentrarse en el diseño de los sistemas auxiliares del proceso y en encontrar la mejor alternativa de diseño de un proceso que maximice la interacción de los módulos entre sí.

Aún cuando la introducción de técnicas analíticas precisas permitan operar con cantidades cada vez menores de materiales, por lo general, todavía resulta conveniente llevar la experimentación a la etapa de planta piloto y así contar con ciertas cantidades de producto y subproductos con el fin de probar su aceptación en el mercado, así como para comprobar, en equipo similar al que se usará comercialmente, el comportamiento de los mecanismos de reacción y separación y los rendimientos que se pueden esperar. Esta etapa es también muy importante porque aquí es donde se definen los problemas y detalles que no se aprecian en toda su magnitud en la escala de laboratorio, y que es necesario definir con suficiente precisión para poder evaluar el impacto económico que tienen en la planta comercial.

Por medio de la planta piloto se debe obtener la suficiente información para evaluar también el impacto de los otros costos en el proyecto, tales como capital de inversión, depreciación, gastos de operación, servicios, etc.

La función básica de la planta piloto del sistema de lavado y purificación de gases de combustión es la de conocer el comportamiento del proceso, en un equipo análogo al de una industria, para obtener toda la información que sea posible del mismo, con todos los detalles, cuellos de botella y problemas que pudieran surgir. En un principio, los fines que se persiguen son meramente de investigación; quedando a futuro los fines comerciales.

10.1.2 ESCALA DE LA PLANTA PILOTO

Son varios los factores que determinan el tamaño de la planta piloto, pero en general, el límite inferior queda fijado por la cantidad de producto necesario que permita determinar el efecto de las impurezas sobre la reacción, la eficiencia de la separación y la calidad del producto; mientras que el límite inferior del tamaño se fija por la necesidad de fabricar suficiente producto para probar el mercado.

Un aspecto importante que también debe considerarse es el de la facilidad y confiabilidad de la extrapolación y escalamiento de los resultados, siendo necesario, en ocasiones, hacer experimentación adicional en ciertas partes del proceso con la finalidad de asegurar un escalamiento correcto a nivel industrial.

En el proceso de estudio de este trabajo, el producto que se desea obtener son los gases de combustión libres de contaminantes; es decir, que contienen sólo CO₂, N₂ y O₂ y se hallan libres de gases nocivos como SO₂, NO, NO₂, hidrocarburos, etc.

En la siguiente tabla se presentan los factores más importantes en el diseño y escalamiento de equipo del sistema.

Tabla 10-1. Factores en el diseño y escalamiento de equipo*

Equipo	¿Es imprescindible la experimentación en planta piloto?	Variables principales para el diseño operacional (además del flujo)	Variables principales que caracterizan el tamaño o capacidad	Relación máxima de escalamiento basada en la variable de caracterización	Factor aproximado de seguridad o sobre diseño recomendado, %
Columnas empacadas	No	Datos de equilibrio Veloc. superficial del vapor	Veloc. De flujo Diámetro Relación altura/diámetro	100:1 10:1	15
Reactores batch	Sí	Veloc. de reacción Estado de equilibrio	Volumen Tiempo de residencia	100:1	20
Reactores continuos	Sí	Veloc. de reacción Estado de equilibrio	Velocidad de flujo Tiempo de residencia	100:1	20
Motores	No	Mecanismo de operación Geometría del sistema	Velocidad de flujo Suministro de fuerza	100:1 20:1	20
Bombas	No	Presión a la descarga	Velocidad de flujo Suministro de fuerza Diám. del impulsor	100:1 100:1 10:1	10
Condensadores de aspersión	No	Calor latente de evaporación Temperaturas	Velocidad de flujo Relación altura/diámetro	70:1 12:1	20
Cambiadores de calor tubulares	No	Temperaturas Viscosidades Conductividad térmica	Velocidad de flujo Área de transferencia de calor	100:1 100:1	15

* Tomado de Giral y Barnés, p. 62; 1979.

De la relación máxima de escalamiento del equipo principal se observa que a partir de una columna empacada de una planta piloto, se puede escalar hasta 10 veces su diámetro a nivel industrial, mientras que la velocidad de flujo se puede escalar hasta 100 veces.

10.1.3 ALCANCE DEL PROGRAMA DE EXPERIMENTACION

En este apartado se debe determinar cuidadosamente el grado de experimentación requerida en cada parte del proceso.

Las variables críticas para los resultados, obtenidas mediante un análisis de sensibilidad de los resultados económicos a distintas variables del proceso; deben determinarse experimentalmente con la mayor exactitud posible. Esto puede significar el experimentar en una planta piloto con todo el proceso, o sólo una pequeña parte, dependiendo de la complejidad del proceso.

El sistema de lavado y purificado de gases presenta la oportunidad de recircular corrientes y aprovechar el calor de los gases, requiriendo refinar plenamente los balances de materia y energía, lo cual justifica el gasto de una planta piloto completa. Las variables críticas del proceso serían el grado de absorción y adsorción en las columnas (dependientes a su vez de las condiciones de temperatura, presión, composiciones y flujos de operación), ya que ésto determinaría el comportamiento del mecanismo del proceso de tratamiento de gases.

Cuando se ha determinado qué parte del proceso se va a diseñar experimentalmente en una planta piloto (lo cual arroja una idea del costo inicial), es necesario determinar el tiempo de operación, el número de corridas y bajo qué condiciones se efectuarán, y el volumen de producción que será necesario, para evaluar el costo de operación de la planta piloto. La suma del costo inicial y del costo de operación, conocida como costo total del programa experimental en planta piloto, es un elemento imprescindible del juicio de análisis del alcance del programa.

Tanto el tiempo de operación como el número de corridas se establecerán una vez que el sistema de planta piloto se haya estabilizado plenamente, y la toma de datos sea confiable. El número de corridas será el necesario para obtener inferencias estadísticas confiables, se puede mencionar un número superior a 30. Las condiciones bajo las cuales se efectuarán como punto de partida, se establecieron en el diseño de las torres, Capítulos 7 y 8.

10.1.4 TIPOS Y APLICACIONES

Una planta piloto de tipo semicomercial es la encargada de producir una cantidad de producto lo suficientemente grande para probar su aceptación en el mercado, construida en base a los resultados de la operación de una planta piloto previa.

Una planta piloto prototipo ilustra lo que se puede lograr en las plantas comerciales, y se utiliza cuando se planea construir varias plantas iguales, lo cual justifica su costo.

Cada vez es menos frecuente encontrarse con plantas piloto completas que reproducen el proceso entero y que requieren de continuidad en la operación, debido al desarrollo de la teoría de diseño de procesos con sus técnicas de simulación, que reduce la necesidad de reproducir experimentalmente los resultados. Actualmente, se acostumbra obtener información empírica en las partes críticas del proceso, y sólo para corroborar los datos obtenidos del cálculo teórico. Se propone la operación de proceso de lavado y purificación de gases, a nivel de planta piloto, apoyada por técnicas de simulación.

Las principales áreas que se tratan de refinar mediante la experimentación en planta piloto son relativas a producto, materias primas, reacciones, separación y sistemas auxiliares.

En el proceso estudiado, la función principal de la planta piloto será la de llevar a cabo la investigación de variables y parámetros físico-químicos que refinen la información sobre la aplicabilidad de este sistema a nivel industrial; además de que se desarrollarán prácticas de laboratorio de ingeniería química, sobre absorción, adsorción, instrumentación y control, mecánica de fluidos y transferencia de calor, entre otras.

Una vez que se haya concluido el trabajo experimental de planta piloto para el desarrollo del proceso, se desprenderá información sobre:

1. El diagrama de flujo general del proceso, así como una idea de las áreas donde se podrían presentar dificultades.
2. El grado de eliminación de contaminantes que se espera obtener.
3. Las cantidades de calor que se van a transferir.
4. Los problemas que se presentan en las operaciones de separación.
5. Los materiales de construcción más adecuados.
6. Los costos estimados de construcción y de operación de la planta.
7. Parámetros de diseño para discretizar la contaminación de los gases de combustión.
8. Comportamiento de los fenómenos de absorción y adsorción ante los cambios en las condiciones de operación (temperatura, presión, composiciones, flujos).

Con base a esta información se pasa al diseño detallado de las partes individuales de la planta, considerando la interacción de una y otra parte, para lograr la correcta operación de la planta completa.

10.1.5 DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

Gran parte de los problemas que se presentan durante la experimentación se deben a un diseño inadecuado o a una mala selección de materiales y de equipo, lo que provoca retrasos en el programa de experimentación, con la consecuente repercusión en los costos.

Durante la experimentación en planta piloto es importante tener en cuenta los principios de la estadística para el diseño de experimentos, con la finalidad de aumentar la confiabilidad de los datos.

Los puntos a considerar como parte del diseño de la planta piloto son:

1. Relaciones de flujo: diagrama de flujo, diagrama de flujo del equipo, balance de materia y energía.
2. Materiales: materias primas, disponibilidad y costos; impurezas en las materias primas y en los productos; corrosión, erosión, polvos, humos; desperdicios y disposición de los efluentes.
3. Equipo y operación: selección del equipo; costo de operación; materiales de construcción, especificaciones de regulación; transmisión de materia y energía.
4. Manejo de materiales: métodos adecuados de manejo; almacenamiento; riesgos industriales, seguridad, salud, contaminación.
5. Trabajo: operadores necesarios; supervisión; especificaciones de regulación y vigilancia; simplificaciones al proceso y seguridad desde el punto de vista del operador.

10.1.6 LOCALIZACION

La ubicación de una planta piloto obedecerá a su tamaño, a los requerimientos de servicios y a las necesidades de trabajo analítico y de consultoría.

Si una planta pequeña requiere mucho trabajo analítico, ésta se ubicará en el laboratorio de investigación, mientras que una planta grande que necesite servicios pesados se instalará en el área de producción, donde estos servicios estén a la mano.

La planta piloto propuesta de lavado y purificación de gases se encuentra instalada en un lugar destinado al análisis, dentro del laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Sonora.

10.1.7 PERSONAL

Es necesaria la colaboración de personal con distintas especialidades, coordinado eficientemente, para un buen funcionamiento del programa de experimentación en planta piloto.

Una función secundaria de la planta piloto es el entrenamiento del personal que operará la planta industrial, lo que reducirá el tiempo de puesta en marcha y logrará una operación más eficiente.

10.1.8 FACTORES TECNICOS Y ECONOMICOS QUE GUIAN LA SELECCION DE LA ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACION

En general, un programa de planta piloto se considera cuando se quiere desarrollar cualquiera de las siguientes actividades:

- Explorar la utilización de nuevos equipos.
- Explorar modificaciones a la reacción o a la separación.
- Producir nuevos materiales para la evaluación, desarrollo del mercado o de nuevos tipos de productos.
- Optimización de procesos para mejorar el rendimiento o la calidad del producto, o para aumentar la capacidad de producción de la planta.
- Estudiar el escalamiento de alguna parte del proceso o coleccionar datos para el diseño de una planta.

La estrategia de experimentación para cada una de estas aplicaciones es diferente, pero podría desarrollarse estudiando la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las razones principales para la experimentación en planta piloto? ¿Se justifica iniciar un programa de experimentación?
- ¿Cuáles son las razones económicas más importantes que determinarán si el proceso tiene éxito o no?
- ¿Cuál es el factor controlante, el tiempo o el dinero?
- ¿Debe hacerse el trabajo internamente o es más conveniente contratarse por fuera?
- ¿Cuál es la escala de experimentación más adecuada?
- ¿Cuáles son los criterios de evaluación que deben seguirse conforme avanza el desarrollo del proceso?

Una vez que se ha evaluado la conveniencia o inconveniencia del programa de desarrollo, si la decisión es favorable, deben atenderse las siguientes reglas:

- Tener la seguridad de que se han considerado todas las posibilidades antes de iniciar el trabajo experimental.
- Asegurarse de que cada programa experimental tiene un objetivo y un tiempo de duración programado.
- Nunca olvidar que el valor del objetivo debe ser mayor que el gasto requerido para conseguirlo.
- Saber cuándo parar o continuar un programa de desarrollo, por medio de un análisis económico.

10.1.9 COSTO DE LA PLANTA PILOTO

Los costos de la experimentación en planta piloto se clasifican en las siguientes categorías:

- El costo del equipo de la planta piloto, incluyendo la compra de terrenos y edificios. Es conveniente incluir una pequeña parte que cubra los cambios que se suelen realizar durante la experimentación.
- El costo de las materias y primas y servicios auxiliares, de acuerdo con el número de experimentos que se considere necesario para la confiabilidad estadística de los resultados del diseño de experimentos.
- El costo del personal empleado durante la experimentación, tanto el directo como el de supervisión, incluyendo el que participó en la interpretación de datos y resultados.

Debido a que el estudio de la planta piloto generalmente parte de bases que no están bien definidas, es frecuente subestimar el costo de esta fase experimental.

La determinación del costo de la planta piloto no se realizó durante este trabajo.

10.2 DESCRIPCION DEL PROCESO

Los gases de combustión por lo general contienen, además de CO, O₂, N₂ y vapor de agua, algunas impurezas sólidas o líquidas (polvos, humos y vapores), y algunos componentes gaseosos (CO, SO₂, NO, NO₂, hidrocarburos, etc.) que pueden resultar nocivos o inconvenientes cuando se mezclan con el aire.

La finalidad de este estudio es lograr la separación de los componentes no deseables de los gases de combustión, para evitar que se pongan en contacto con la atmósfera.

Para lograr esta separación, la estrategia que se sigue es observar qué gases son o no solubles en agua, y actuar obedeciendo a esta propiedad.

La presencia de CO es el resultado de una combustión imperfecta o incompleta. Propiciando una buena reacción de combustión el CO puede reducirse, o bien, puede oxidarse en reactor catalítico a altas temperaturas para generar CO₂.

Los gases solubles, SO₂ y NO₂, se pueden remover fácilmente en un lavador con agua, mientras que el resto, gases insolubles, pueden separarse en el filtro de carbón activado, de la siguiente manera:

Los gases orgánicos, hidrocarburos, aldehídos, etc., se adsorben en el carbón. La impureza remanente, el NO, que no es soluble en agua ni es adsorbido por el carbón, se puede separar oxidándolo a NO₂, gracias a que el filtro de carbón favorece esta reacción, que ya de por sí se empieza a producir espontáneamente, debido a la alta reactividad del NO con el oxígeno presente. Una vez formado el NO₂, éste puede ser absorbido en el agua del segundo lavador.

Los gases son dirigidos desde la cámara de combustión hasta las torres por medio de uno o varios sopladores.

A partir de estas consideraciones se emplea un sistema de limpieza y purificación de gases de combustión, consistente en un lavador primario, un filtro de carbón activado y un lavador secundario.

10.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO

El proceso consta de dos lavadores de gases en forma de torres empacadas de anillos Pall, por donde circulan los gases a contracorriente con el agua de lavado. El material de construcción de las torres es acrílico, con una altura aproximada de 1 metro y diámetro nominal de 12.5 cm (5 plg).

Otra parte principal del proceso consiste en una tercera torre, a manera de filtro, rellena con carbón activado, construida en el mismo material y diámetro que las anteriores, pero con altura aproximada de medio metro.

Dentro del sistema auxiliar del proceso se tendrán 1 o varios sopladores que proporcionarán la energía mecánica que moverá a los gases desde el quemador hasta la chimenea de salida.

El proceso consta también de un quemador, que es donde se llevará a cabo la reacción de combustión de los materiales combustibles sólidos o líquidos.

Una modificación al proceso sería el empleo de un quemador de gas, adaptable al mismo sistema.

Debe contarse con un sistema de enfriamiento de las gases, para lograr que éstos reduzcan su temperatura hasta los 25 °C antes de entrar al primer lavador.

Características generales de los equipos:

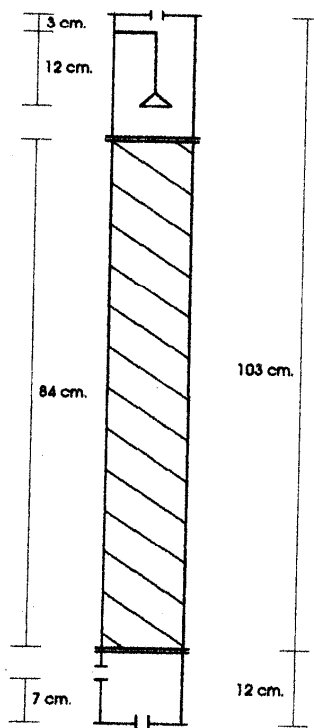


Fig. 12 1a. torre absorbidora.

1. El primer lavador (Fig. 12) consta de:

- a) Una unidad bridada de 103 cm de altura para contener al empaque.
- b) Altura permisible del empaque: 83 cm.
- c) 4 bridas de acrílico con sus correspondientes tornillos de acero inoxidable.

- d) Un tramo de 12 cm para retención del líquido, que se colocará debajo de la sección de empaque, con altura del orificio de entrada para gas de 7 cm y un diámetro nominal de 19mm (3/4 plg); y un orificio en la parte inferior, o tapa, para salida del agua con diámetro de 1 plg.
- e) En la parte lateral superior de la torre se realizará un orificio de 3/4 plg. para la entrada de líquido, y otro igual en la parte superior, o tapa, para la salida del gas.
- f) En el tramo libre de material de empaque de la parte superior, se colocará un distribuidor de líquido en forma de regadera con longitud de 12 cm.
- g) No se incluyen redistribuidores de líquido.
- h) Plato perforado de acrílico como soporte del empaque.
- i) La altura total de la torre es de 115 cm.

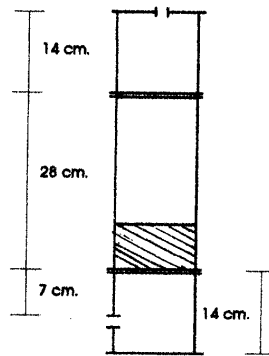


Fig. 13 Filtro de carbón activado.

2. Filtro de carbón activado (Fig.13) :

- a) Altura total de la unidad: 56 cm.
- b) Altura disponible para el lecho: 28 cm.
- c) Tramo inferior de 14 cm con orificio colocado en la parte lateral media, para la entrada de gas, de 3/4 plg de diámetro.
- d) Tramo superior de 14 cm.
- e) Dos tapas de acrílico. La tapa superior, con orificio de 3/4 plg de diámetro para la salida del gas.
- f) 6 bridas de acrílico.
- g) Tejido plástico de malla +30 colocado entre el empaque y los tramos superior e inferior, para sostener el lecho de carbón.

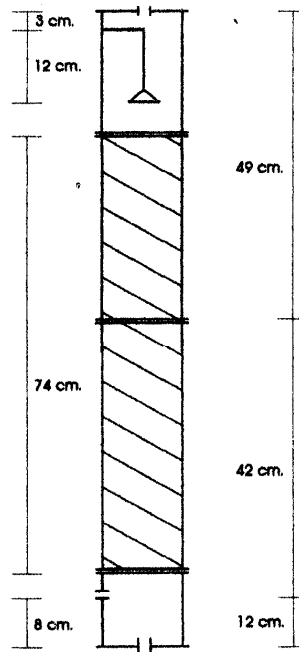


Fig. 14 2a. torre absorbidora.

3. Segundo lavador (Fig. 14) :

- Dos unidades bridadas de 42 cm y 49 cm de altura para contener al empaque.
- Altura permisible del empaque: 74 cm.
- 6 bridas de acrílico con sus respectivos tornillos de acero inoxidable.
- Un tramo de 12 cm para retención del líquido, colocado debajo de la sección de empaque, con altura del orificio de entrada para gas de 8 cm y un diámetro nominal de 19mm (3/4 plg); y un orificio en la parte inferior, o tapa, para salida del agua con diámetro de 3/4 plg.
- En la parte lateral superior de la torre se realizará un orificio de 3/4 plg. para la entrada de líquido, y otro igual en la parte superior, o tapa, para la salida del gas.
- En el tramo libre de material de empaque de la parte superior, se colocará un distribuidor de líquido en forma de regadera con longitud de 12 cm.
- No se incluyen redistribuidores de líquido.
- Plato perforado de acrílico como soporte del empaque.
- La altura total de la torre es de 103 cm.

4. Equipo auxiliar:

- a) Quemador: Forma cilíndrica, vertical, de hierro, con diámetro de 75 cm y altura de 90 cms.
- b) Soplador.
- c) Sistema de enfriamiento de gases.
- d) Empaque: Anillos Pall, de polipropileno, de 16 mm de diámetro (5/8 plg).
- e) Accesorios: Tubería, codos, niples, coples, etc. de PVC de 19 mm (3/4 plg).

10.4 DIAGRAMA DE BLOQUES

Los diagramas de bloques presentan en forma simple, una sola operación o proceso unitario, o bien, toda una sección de la planta, por medio de rectángulos interconectados con segmentos de línea recta.

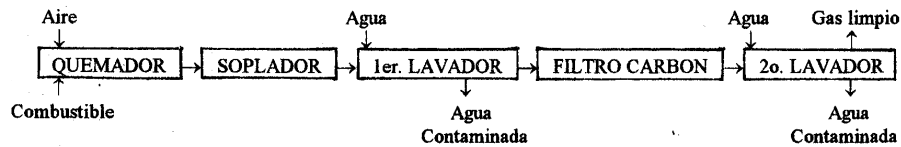
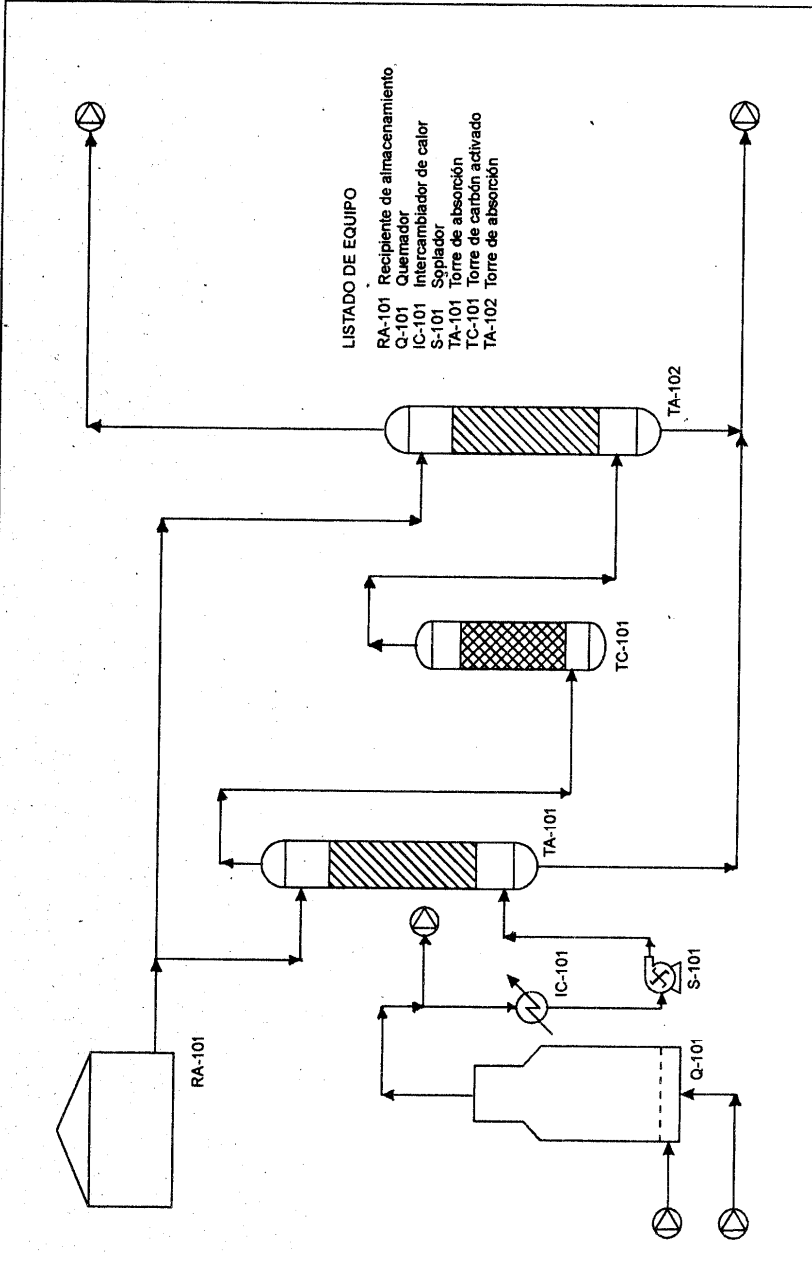


Fig. 15. Diagrama de bloques del proceso de lavado y purificación de gases de combustión.

10.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Aún cuando puede ser de diferentes tipos (de proceso, mecánico, de servicio, etc.), el diagrama de flujo representa el diagrama de flujo del proceso, que es un instrumento clave para definir, refinar y documentar un proceso químico.

Además de una serie de símbolos y líneas, el diagrama de flujo de un proceso, debe incluir los números y nombres de identificación del equipo, las presiones y temperaturas, identificaciones de servicios, flujo molar o volumétrico de las corrientes seleccionadas y una tabla de balance de materia ligada a las líneas principales del proceso. Puede además contener otra información, como balances de energía y la instrumentación. En la siguiente tabla se enlistan los componentes que puede y debe contener un diagrama de flujo de proceso, aunque conviene señalar que en la práctica industrial se dan variaciones cualitativas.



LISTADO DE EQUIPO

- RA-101 Recipiente de almacenamiento
- Q-101 Quemador
- IC-101 Intercambiador de calor
- S-101 Soplador
- TA-101 Torre de absorción
- TC-101 Torre de carbón activado
- TA-102 Torre de absorción

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION
METODO	ABSORCION - ADSORCION
PLANO	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE PLANTA PILOTO
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA	
UNIVERSIDAD DE SONORA	
PLANO No.	1
FECHA	OCTUBRE 05, 1995
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA

Tabla 10-2. Elementos de un diagrama de flujo de proceso*

Constituyentes esenciales

Símbolos del equipo
 Líneas de flujo de las corrientes del proceso
 Nombres de los equipos
 Números de los equipos
 Designación de los servicios
 Presión y temperatura de las líneas del proceso
 Flujos seleccionados molares o volumétricos
 Tablas de balance de materia

Constituyentes opcionales

Intercambio de energía
 Instrumentos principales
 Propiedades físicas de las corrientes del proceso

* Tomado de Ulrich, p. 29; 1993.

La finalidad de un diagrama de flujo de proceso es destacar de inmediato la simbología del equipo, las operaciones del proceso y el flujo, mostrar claramente la dirección del flujo, indicar las condiciones de temperatura, presión y flujo en diversos puntos significativos del diagrama, emplear simbología estándar, y ennumerar datos del diseño de recipientes, elevaciones del equipo, etc.

En seguida se muestra el diagrama de flujo de proceso de planta piloto (plano No. 1) del sistema de lavado y purificación de gases de combustión. Este diagrama señala las corrientes de flujo así como representa, nombra y numera el equipo principal y algunos equipos secundarios. Los demás elementos se incluyen en los diagramas de balance de materia, de tubería y de instrumentación.

10.6 BALANCE DE MATERIA

El balance de materia del proceso se representa en un diagrama (plano No. 2), donde se muestran las cantidades de materia que circulan por las corrientes principales. Los valores para este diagrama se calcularon a partir de datos extraídos del cálculo de gases de combustión (Cap.4) y del diseño de las torres lavadoras (Caps. 7 y 8), de la siguiente manera:

Del diseño de las torres lavadoras se tiene:

Flujo de gas de combustión: $0.029 \text{ kmol/min} = 0.88421 \text{ kg/min} = 14.73683 \text{ g/s}$

Flujo de agua de alimentación: $0.392 \text{ kmol/min} = 7.056 \text{ kg/min} = 117.6 \text{ g/s}$.

Las dos torres lavadoras reciben la misma cantidad de flujo de agua.

La composición de los gases de combustión se determinó como:

Tabla 10-3. , Composición de los gases de combustión

Componente (PM)	% peso, base húmeda	% mol, base húmeda	% peso, base seca	% mol, base seca
N ₂ (28)	730.97	73.78	76.183	82.975
O ₂ (32)	1.96	1.78	2.103	2.000
CO ₂ (44)	20.14	13.33	21.618	14.980
SO ₂ (64.1)	0.09	0.04	0.096	0.045
H ₂ O (18)	6.84	11.07		
Total	100.00	100.00	100.000	100.000

El flujo de cada uno de los componentes del gas de combustión, corriente No.1, se calculó como el producto de su fracción peso (en base seca) por el flujo másico del gas. Por ejemplo, para el nitrógeno:

$$(\text{SO}_2)_1 = 0.88421 \text{ kg/min} (0.00096) = 0.00085 \text{ kg/min},$$

donde el subíndice 1 señala que se trata del SO₂ de la corriente No. 1.

En el caso de los gases que abandonan el primer lavador, corriente No. 2, todos los flujos permanecen iguales a los de la corriente No.1, excepto en SO₂, que sufre una absorción del 70 %, por lo que:

$$(\text{SO}_2)_2 = 0.00085 \text{ kg/min} (0.30) = 0.000255 \text{ kg/min}$$

Al pasar la corriente 2 por el filtro de carbón activado ésta se mantiene, ya que los componentes del gas de combustión propuesto no experimentan cambio alguno a su paso.

Los gases exhaustos son los que después de pasar por el primer lavador y el filtro de carbón, circulan también a través del segundo lavador, y se designan como corriente No. 3. Nuevamente, el flujo de todos los gases, al salir del segundo lavador, permanece invariable, excepto el SO₂, que vuelve a absorberse en un 70 %.

$$(\text{SO}_2)_3 = 0.000255 \text{ kg/min} (0.30) = 0.0000765 \text{ kg/min}$$

El agua de alimentación al primer lavador se denomina como corriente No.4, y es precisamente el flujo calculado de agua de alimentación, que es igual a 7.056 kg/min.

La corriente No. 5 es el agua que sale del primer lavador, que consta del agua de entrada más el SO₂ que se absorbió:

$$\begin{aligned} (\text{H}_2\text{O})_5 &= 7.056 + (0.00085 - 0.000255) \\ &= 7.056 + 0.000595 = 7.056595 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

La corriente No. 6, que representa al agua de alimentación al segundo lavador, es idéntica a la corriente No. 4.

El agua que sale después del lavado en la segunda torre empacada, consistente en el agua de alimentación más el SO₂ absorbido, se designa como corriente No.7:

$$\begin{aligned} (\text{H}_2\text{O})_7 &= 7.056 + (0.000255 - 0.000076) \\ &= 7.056 + 0.000179 = 7.056179 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

Por último, la suma de las corrientes 5 y 7 constituyen la corriente No. 8, que es el agua drenada del proceso.

A continuación, se muestra la tabla del balance de materia:

Tabla 10-4. Balance de materia (kg/min)

Componente (PM)	Gases de alimentación 1	Gases lavados 2	Gases exhaustos 3	Agua de alimentación 4, 6	Agua de lavado 5	Agua de lavado 7	Agua drenada 8
N ₂ (28)	0.67362	0.673620	0.673620				
O ₂ (32)	0.01859	0.018590	0.018590				
CO ₂ (44)	0.19115	0.191150	0.191150				
SO ₂ (64.1)	0.00085	0.000255	0.000076		0.000595	0.000179	0.000774
H ₂ O (18)				7.056	7.056000	7.056000	14.112000
Total	0.88421	0.883615	0.883436	7.056	7.056595	7.056179	14.112774

Por conveniencia y para ser consistentes con el resto del trabajo, el balance de materia se presenta en unidades de kg/min, pero, debido a que es más común trabajar en g/s, se presenta también el balance de materia en estas unidades:

Tabla 10-5. Balance de materia (g/s)

Componente (PM)	Gases de alimentación 1	Gases lavados 2	Gases exhaustos 3	Agua de alimentación 4, 6	Agua de lavado 5	Agua de lavado 7	Agua drenada 8
N ₂ (28)	11.22700	11.22700	11.22700				
O ₂ (32)	0.30983	0.30983	0.30983				
CO ₂ (44)	3.18583	3.18583	3.18583				
SO ₂ (64.1)	0.01417	0.00425	0.00127		0.00992	0.00298	0.0129
H ₂ O (18)				117.6	117.60000	117.60000	235.2000
Total	14.73683	14.72691	14.72393	117.6	117.60992	117.60298	235.2129

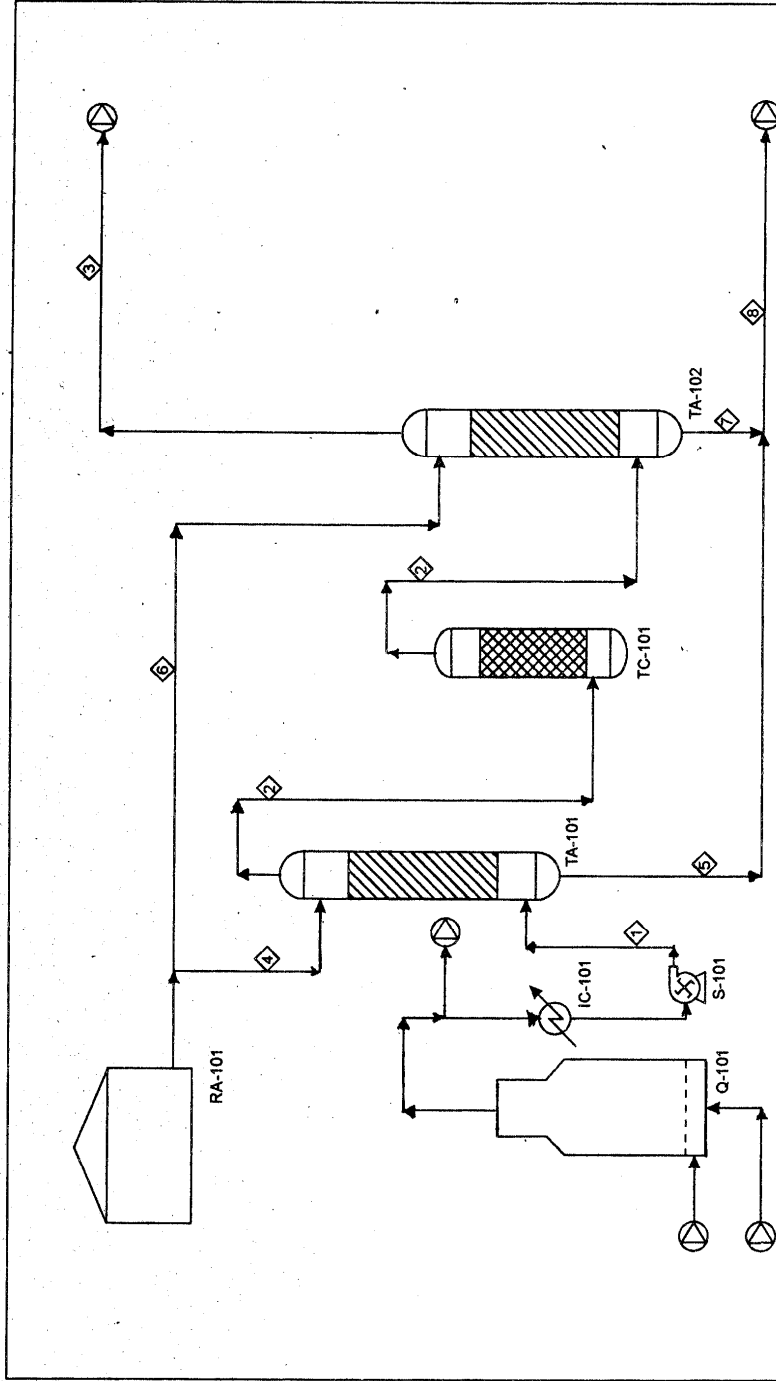


Tabla del balance de materia (kg/min)

Componentes (PM)	Gases de Alimentación 1	Gases lavados 2	Gases Exhaustos 3	Agua de alimentación 4,6	Agua de lavado 5	Agua de lavado 7	Agua drenada 8
N2 (28)	0.67362	0.673620	0.67362				
O2 (32)	0.01859	0.018590	0.018590				
CO2 (44)	0.19115	0.191150	0.191150				
SO2 (64.1)	0.00085	0.000255	0.000076		0.00059	0.00018	0.00077
H2O (18)				7.056	7.05600	7.05600	14.11200
Total	0.88421	0.883615	0.883436	7.056	7.05659	7.05618	14.11277

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION		
METODO	ABSORCION - ADSORCION		
PLANO	BALANCE DE MATERIA		
	DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA		
	UNIVERSIDAD DE SONORA		
PLANO No.	2	ESCALA	S/E
FECHA	OCTUBRE 13, 1995		
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA		

En el balance de materia de este proceso se supuso que solamente el SO₂ experimenta absorción en el agua. Esto es debido a la solubilidad insignificante de los demás componentes del gas de combustión, frente a la solubilidad del SO₂ en el agua. La solubilidad del SO₂, en pesos de sustancia/100 pesos de agua, es casi 70 veces mayor que el CO₂, que es el menos insoluble del resto de los componentes (Manual del Ing. Químico, seccs. 3-28 y 3-120; 1995).

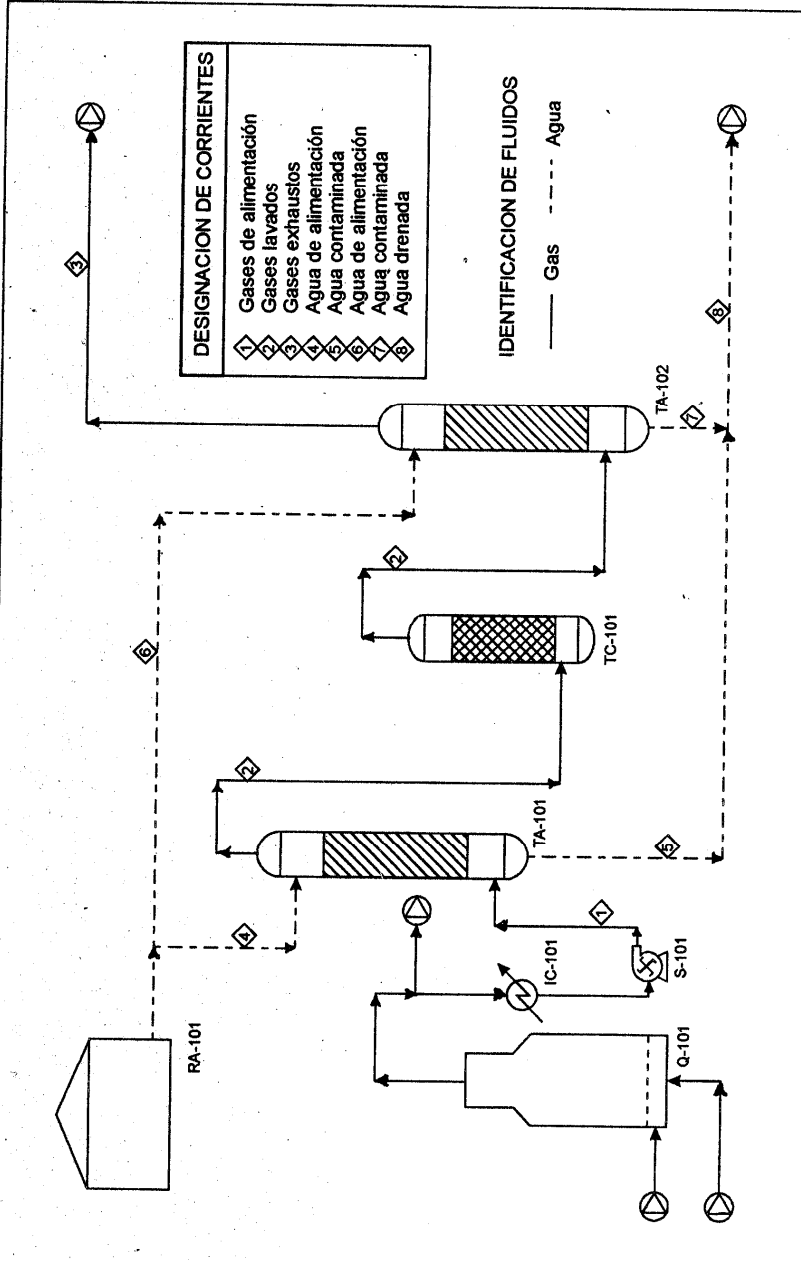
No se consideraron pérdidas de gas por las fugas del sistema, ya que resulta difícil predecirlas con exactitud.

Tampoco se consideraron pérdidas de agua por evaporación o por arrastre en la corriente gaseosa, ya que serían pequeñas y ajenas al objetivo de este trabajo (las pérdidas por arrastre se consideran del 0.1 al 0.3 % del flujo, según Treybal, p. 278; 1993, mientras que la evaporación es mínima debido a la suposición de que las temperaturas del gas y del líquido son iguales).

10.7 DIAGRAMA DE TUBERIAS

En el diagrama de tuberías (plano No. 3), además de designarse las corrientes del sistema, se incluyen las especificaciones de la tubería que se empleará, tales como diámetro, material de construcción y fluido que transportará.

La tubería que se usará en la conducción del agua será totalmente de PVC 1114, de 19 mm (3/4 plg). Para la conducción del gas se empleará tubería metálica sólo entre el quemador y el soplador, ya que se registra una alta temperatura de los gases a la salida del quemador. Puesto que los gases llegarán fríos al soplador, a partir de él, se empleará tubería de PVC 1114, de 19 mm (3/4 plg). Se eligió este material de PVC debido a su bajo costo, fácil instalación y ligereza, además de que resiste de forma satisfactoria las condiciones del proceso (baja corrosión).



PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION
METODO	ABSORCION - ADSORCION
PLANO	DIAGRAMA DE TUBERIAS
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA	
UNIVERSIDAD DE SONORA	
PLANO No.	3
FECHA	OCTUBRE 12, 1995
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA

10.8 INSTRUMENTACION

El equipo de instrumentación, constituido por un sistema de control y adquisición de datos, del sistema de lavado y purificación de gases, así como su cotización, propuesto por el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Unidad de Instrumentación Electrónica de Hermosillo, es el siguiente:

1. Gabinete metálico con sistema de control y adquisición de datos de 8 bits con 16 entradas analógicas o digitales, 4 entradas de pulsos y 4 salidas digitales de control con interfase paralela a computadora personal IBM o compatible, alimentación de 127 VCA.

Costo unitario: N\$ 9,700.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 8 a 12 semanas

2. Computadora Lanix Pentium, 420 MB (disco duro), 8 MB (memoria RAM) con impresora HP Laserjet 4L.

Costo unitario: N\$ 16,680.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 2 a 4 semanas

3. 10 termómetros termoresistivos de 10 a 50 °C. Error de ± 0.5 °C.

Costo unitario: N\$ 320.00 + IVA
 Importe total: N\$ 3,200.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 12 a 16 semanas

4. Termómetro termoelectrico de 0 a 250 °C. Error de ± 0.5 °C.

Costo unitario: N\$ 650.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 14 a 18 semanas

5. 6 sensores de presión (2 de repuesto) de 0 100 lbs/plg².

Costo unitario: N\$ 3,267.20 + IVA
 Importe total: N\$ 19,603.20 + IVA
 Tiempo de entrega: 12 a 16 semanas

6. 2 reguladores de flujo de agua.

Costo unitario: N\$ 12,018.00 + IVA
 Importe total: N\$ 24,036.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 12 a 16 semanas

7. Sensor de flujo de gases.

Costo unitario: N\$ 67,341.90 + IVA
 Tiempo de entrega: 12 a 16 semanas

8. Controlador de velocidad del motor del soplador.

Costo unitario: N\$ 2,000.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 6 a 8 semanas

9. Programa de control para MSDOS o Windows para la lectura de 10 temperaturas, 4 presiones y 3 flujos , y para el control de flujos y presión.

Costo unitario: N\$ 7,000.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 12 a 16 semanas

10. Instalación del sistema.

Costo unitario: N\$ 7,000.00 + IVA
 Tiempo de entrega: 20 a 24 semanas

11. Manuales completos de:

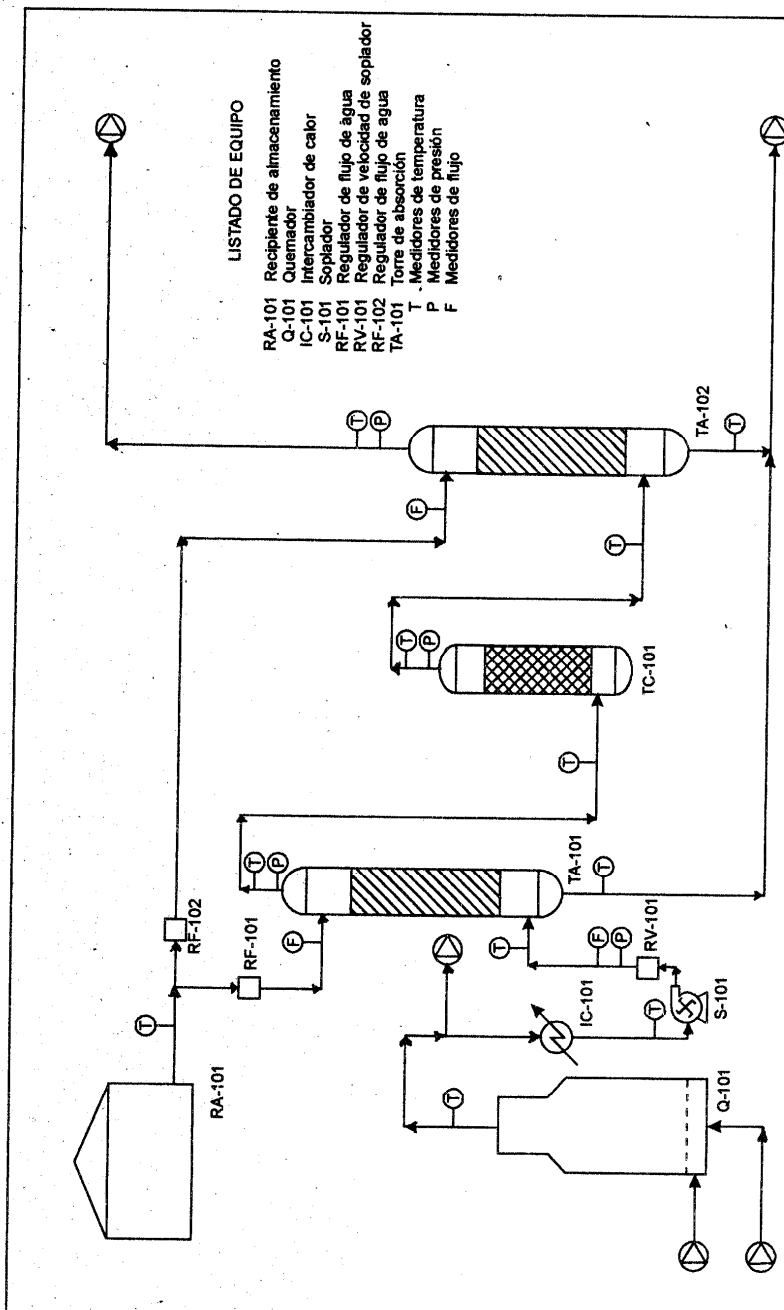
Instalación
 Operación
 Programación
 Servicio

Suma total:	N\$ 157,211.10
+ 15 % IVA:	23,581.67
-----	-----
Monto total:	N\$ 180,792.77

Estos materiales gozan de una garantía de 6 meses y la validez de la cotización es de 30 días a partir del 16 de Octubre de 1995.

En el diagrama de instrumentación, plano No. 4, se representa lo anteriormente propuesto.

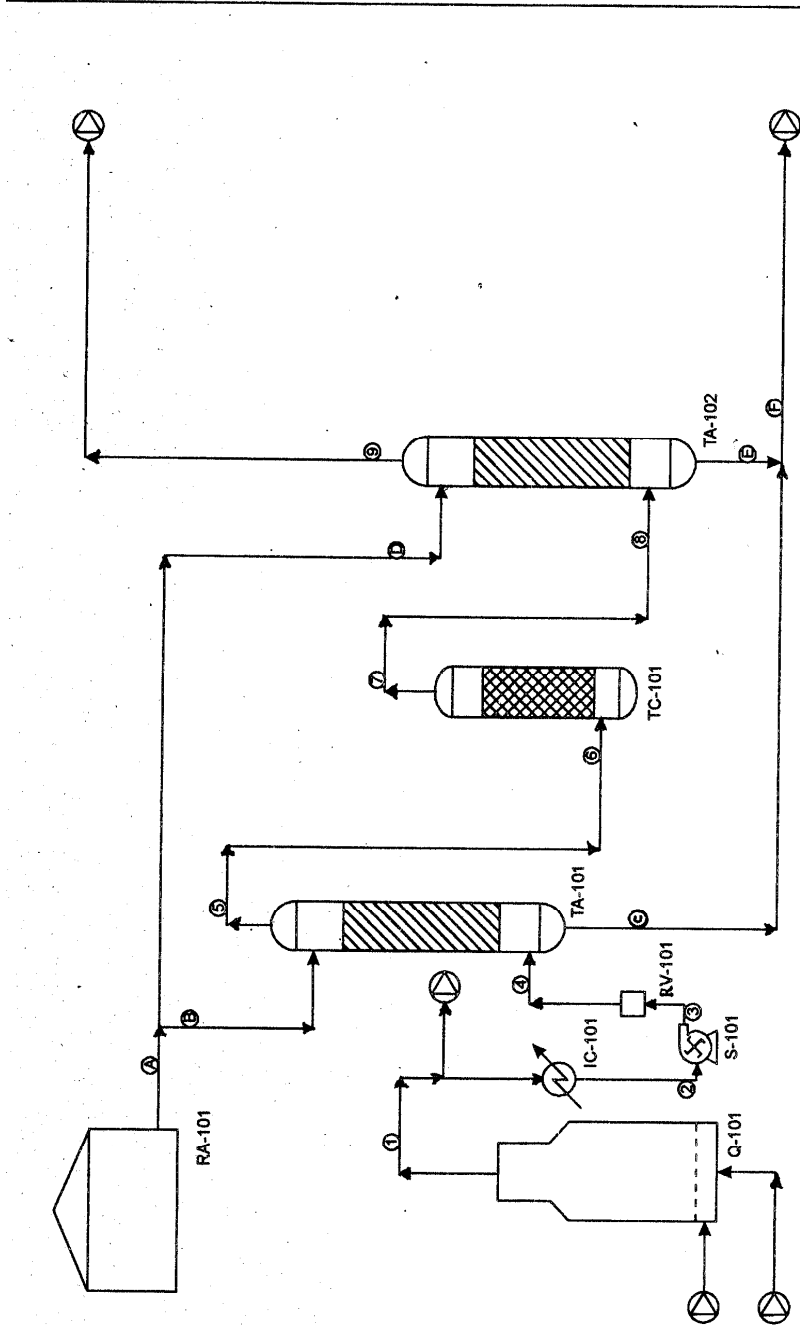
En los planos 5 y 6 se hace una identificación de puntos, un diagrama de flujo y la especificación de los sensores.



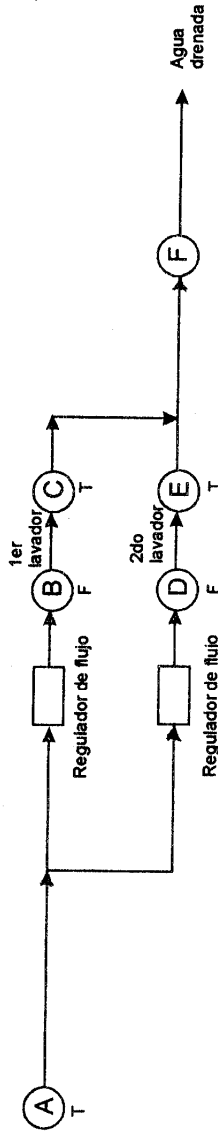
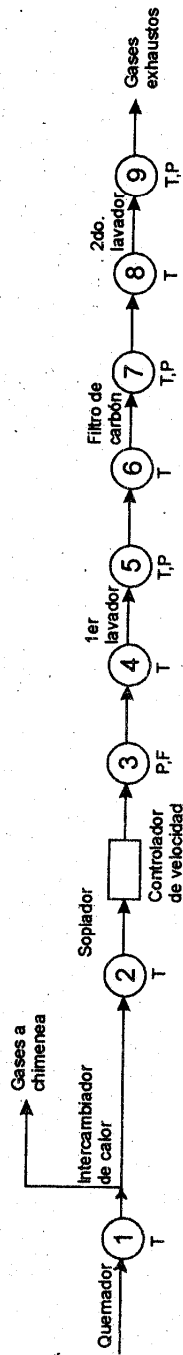
LISTADO DE EQUIPO

- RA-101 Recipiente de almacenamiento
- Q-101 Quemador
- IC-101 Intercambiador de calor
- S-101 Soplador
- RF-101 Regulador de flujo de agua
- RV-101 Regulador de velocidad de soplador
- RF-102 Regulador de flujo de agua
- TA-101 Torre de absorción
- T Medidores de temperatura
- P Medidores de presión
- F Medidores de flujo

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION
METODO	ABSORCION - ADSORCION
PLANO	DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA	
UNIVERSIDAD DE SONORA	
PLANO No.	4
FECHA	OCTUBRE 30, 1995
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA



PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION		
METODO	ABSORCION - ADSORCION		
PLANO	OPERACION DE LA PLANTA (IDENTIFICACION DE PUNTOS)		
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA			
UNIVERSIDAD DE SONORA			
PLANO No.	5	ESCALA	S/E
FECHA	OCTUBRE 25, 1995		
REALIZO	GENOVEVA BUELINA QUIJADA		



Clave de mediciones
 T= Temperatura
 F= Flujo
 P= Presión

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION		
METODO	ABSORCION - ADSORCION		
PLANO	DIAGRAMA DE FLUJO (CONTINUACION)		
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA			
UNIVERSIDAD DE SONORA			
PLANO No.	5A	ESCALA	S/E
FECHA	OCTUBRE 25, 1995		
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA		

Descripción de los sensores y medidores de flujo para el control y la adquisición de datos del sistema de lavado y purificación de gases de combustión:

1. Transductores de temperatura:

Se utilizará un termopar tipo K para medir la temperatura de los gases a la salida del quemador. Los termopares están constituidos por la unión de dos metales con distintos potenciales de oxidación. Se seleccionó un termopar compuesto por un elemento de alumel y otro de constantan. Este termopar presenta un comportamiento prácticamente lineal en el rango de temperaturas de operación. Todas las demás temperaturas se medirán con dispositivos RTD (resistencia dependiente de la temperatura), compuestos con elementos cerámicos que varían su resistencia eléctrica respecto a la temperatura.

2. Medidores de flujo:

En la medición del flujo de agua resulta adecuado emplear transductores con una rueda de paletas de plástico acoplada a un dispositivo par óptico. La velocidad de giro de la rueda es proporcional al flujo de gas, y se transduce a pulsos eléctricos utilizables en la computadora.

Para medir el flujo de los gases se emplea un elemento sensor piezoeléctrico excitado por la acción de un desviador de vórtice. Este transductor es el más adecuado para emplearse con gases hostiles.

3. Sensores de presión:

En todos los puntos del sistema se emplearán transductores de diafragma de silicio, que transducen directamente los cambios de presión en cambios a su resistencia eléctrica. En el caso de que se deseara medir la presión de los gases a la salida del quemador, sería necesario utilizar un transductor de sello metálico, que resiste altas temperaturas y mantiene al transductor aislado de los gases contaminantes.

4. Reguladores o controladores de flujo:

Básicamente, consisten de válvulas mecánicas acopladas directamente as un motor de CD o a un motor de pasos para controlar su ajuste.

ESPECIFICACION DE SENSORES

PUNTO	TEMPERATURA (°C)			PRESION			FLUJO (pie ³ /seg)		
	Especificación	Rango	Sensor	Especificación	Rango	Sensor	Especificación	Rango	Sensor
1	120 - 180	0 - 200	Termopar						
2	20 - 30	0 - 50	RTD						
3				2 - 3	0 - 100	PSI - 100	0.42	0 - 25	FP7001/7007-C
4	20 - 30	0 - 50	RTD						
5	20 - 30	0 - 50	RTD	1.5 - 2.5	0 - 100	PX236-100GV			
6	20 - 30	0 - 50	RTD						
7	20 - 30	0 - 50	RTD	1 - 1.5	0 - 50	PX236-100GV			
8	20 - 30	0 - 50	RTD						
9	20 - 30	0 - 50	RTD	1	0 - 50	PX236-100GV			
A	20 - 30	0 - 50	RTD						
B							0.005	0 - 1	FV-510G
C	20 - 30	0 - 50	RTD						
D							0.005	0 - 1	FV-510G
E	20 - 30	0 - 50	RTD						
F									

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION
METODO	ABSORCION - ADSORCION
PLANO	ESPECIFICACION DE SENSORES
	DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA
	UNIVERSIDAD DE SONORA
PLANO No.	6
FECHA	OCTUBRE 30, 1985
REALIZO	GENOVEVA BUJENA QUIJADA
	ESCALA
	S/E

10.9 SERVICIOS PARA LA PLANTA

10.9.1 SERVICIOS PRIMARIOS

a) Agua de proceso

Se utilizará agua potable de la llave, a la cual el único tratamiento que será necesario darle es el de colado y sedimentación, para separar posibles sólidos suspendidos.

Se contará con un recipiente de almacenamiento y tubería de conducción del agua almacenada hacia el proceso.

b) Combustible

De acuerdo al equipo de proceso, los combustibles que pueden utilizarse son gaseosos (gas natural), líquidos (derivados del petróleo como querosina, diesel, gasolina y otros), sólidos (hulla, carbón o madera), y productos de desechos (subproductos de proceso susceptibles de ser quemados).

c) Energía eléctrica

Es la energía de que accionará bombas, sopladores, termopares, dispositivos de análisis de gases y otros instrumentos, así como de alumbrado.

La energía eléctrica se comprará a la CFE. Esta energía se podría producir en la propia planta con un generador, dependiendo de la factibilidad económica.

Se empleará equipo con voltaje de 220 y 110 volts. El equipo eléctrico debe ser a prueba de explosiones.

d) Almacenamiento de materias primas

Almacenamiento de líquidos. Se dispondrá de un recipiente de almacenamiento para el agua de alimentación al proceso, el cual tendrá dos salidas de agua: una que irá hacia la primera torre lavadora y otra hacia el segundo lavador. El agua de salida del proceso no necesariamente tiene que ser desechada al drenaje, sino que puede almacenarse y recibir un tratamiento con alguna base (como NaOH) para neutralizar su pH y poder ser reutilizada en algún otro proceso.

Puesto que el agua estará a temperatura y presión bajas, se almacenará en tanques cilíndricos verticales.

En caso de que se utilicen combustibles líquidos, éstos se almacenarán en recipientes cerrados, fuera de las áreas que presenten peligro de inflamación o chispas.

Almacenamiento de sólidos. Si se utilizan combustibles sólidos, éstos se almacenarán en tanques herméticos a la interperie, o en apilamientos exteriores, protegidos de la humedad.

10.9.2 SERVICIOS SECUNDARIOS

a) Servicio de mantenimiento

Se deberá contar con un taller mecánico equipado con maquinaria estándar, para realizar trabajos relacionados con el equipo, tuberías, equipo eléctrico y todas las reparaciones que resulten necesarias. Es conveniente contar con las listas de repuesto y con las instrucciones de mantenimiento otorgadas por el fabricante. Si se capacita a los operadores, éstos podrán encargarse del mantenimiento del equipo que manejan, o puede emplearse ayuda externa.

b) Edificios de la planta

La planta piloto estará contenida dentro del laboratorio de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, en un área especialmente destinada para ella.

c) Sistemas de drenaje y eliminación de desechos de la planta

El sistema de drenaje de la planta debe conducir los desechos del proceso, que son agua con ciertos compuestos disueltos en ella, los cuales pueden recibir tratamiento previo antes de arrojarse el drenaje.

d) Seguridad en la planta

- Para evitar accidentes, es preciso evitar todas aquellas situaciones riesgosas o inadecuadas.
- Siempre existirá el riesgo latente de ignición de los combustibles, por lo que éstos deberán almacenarse en una zona segura.
- Es imprescindible contar con extinguidores, para extinguir cualquier llama no deseada que se presente.
- Mientras que el proceso esté en operación, para evitar explosiones, deberá cuidarse que no haya cerca materiales con alta inflamabilidad, ya que saldrán chispas del quemador y de la chimenea de escape de los gases.
- El sistema eléctrico deberá estar protegido con dispositivos que corten el circuito, en casos de sobrecarga o falla, operados manual o eléctricamente.

- Se dará atención a que no ocurran fugas en el proceso.
- Debe tenerse cuidado con las presiones de operación del equipo, ya que una sobrecarga podría tener consecuencias graves para el equipo y para la seguridad de las personas. Es importante vigilar el buen funcionamiento de los medidores de presión y de las válvulas de seguridad.
- Deberá contarse con un plan de acciones a seguir (ver paro de emergencia) en el caso de presentarse fallas o emergencias en la planta. Este plan será del dominio común del personal que ahí labore.

10.10 TECNICAS DE OPTIMIZACION

La idea principal de la optimización radica en reconocer que existe un gran número de maneras para llegar a un fin, y que entre una de ellas hay una que es la mejor, tomando en cuenta la medida de la efectividad elegida, que se conoce como la función objetivo.

Siempre que en la descripción formal de un problema el número de variables controlables sea mayor que el número de ecuaciones independientes que lo describen, se plantea un problema de optimización.

Es de gran importancia considerar que el método usado deberá ser una representación simplificada que tome en cuenta los aspectos más relevantes del problema real que dé la mejor aproximación al mismo y permita una resolución eficiente y económica.

Los métodos de optimización son solamente formas eficientes de exploración, que no pueden por sí sustituir el conocimiento cuantitativo de los fenómenos físico-químicos que ocurren en el proceso estudiado.

1. Formulación matemática del programa

El programa general de programación no lineal se plantea de la siguiente manera:

Minimizar $f(x)$

Sujeto a: $g_i(x) = 0$ $i = 1, 2, \dots, m_1$

$h_j(x) \geq 0$ $j = m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_2$

2. Manejo de restricciones

Los dos tipos básicos de estrategias para el manejo de restricciones son:

- a) Transformación de variable
- b) Técnicas de barrera y penalización.

3. Métodos básicos de descenso

Estas técnicas son importantes para aplicaciones prácticas, pues ofrecen la alternativa más directa y simple para obtener soluciones cuando éstas no se pueden obtener en forma analítica.

- a) Búsqueda univariable
 - i) Búsqueda secuencial o por dicotomía
 - ii) Búsqueda por ajuste de curvas

- b) Búsqueda multivariable
 - i) Método del gradiente
 - ii) Método de Newton

4. Métodos directos

- a) Método de descenso combinado
- b) Método de Powell
- c) Método de Hooke y Jeeves

5. Criterios de terminación

Se basan en que la mayoría de los algoritmos usan ciertos valores de tolerancia para terminar el proceso.

6. Evaluación de algoritmos

Los algoritmos se pueden evaluar desde puntos de vista teóricos y prácticos. A nivel teórico, concierne principalmente a los matemáticos, en el análisis de convergencia. Desde el punto de vista práctico se han creado una gran cantidad de problemas prueba con los cuales se ensayan los algoritmos para evaluar su eficiencia.

10.11 PRUEBAS PREOPERACIONALES

Antes de iniciar la operación de la planta, debe realizarse un programa de pruebas que permitan verificar el funcionamiento adecuado del equipo, evitando tener pérdidas o problemas lamentables. Para este fin, en lugar de emplear los materiales con los que se operará realmente en el proceso, se utilizarán aire, agua u otros fluidos baratos y abundantes.

En la planta piloto de lavado y purificado de gases, se pueden realizar pruebas de aire, trabajando con aire en lugar de gases de combustión, es decir, que no será necesario llevar a cabo la combustión de materias primas.

Se seguirán los mismos pasos que para el programa de operación normal, sólo que no se obedecerán aquéllos que señalen iniciar combustión.

Con esta prueba física debe hacerse una revisión minuciosa de los fluidos involucrados, en su paso a través de tuberías y equipo, revisar sellos y conexiones. Con lo anterior, es posible detectar fugas, así como evaluar rápidamente si las condiciones de operación son adecuadas.

10.12 OPERACION DE LA PLANTA (ARRANQUE Y PARO)

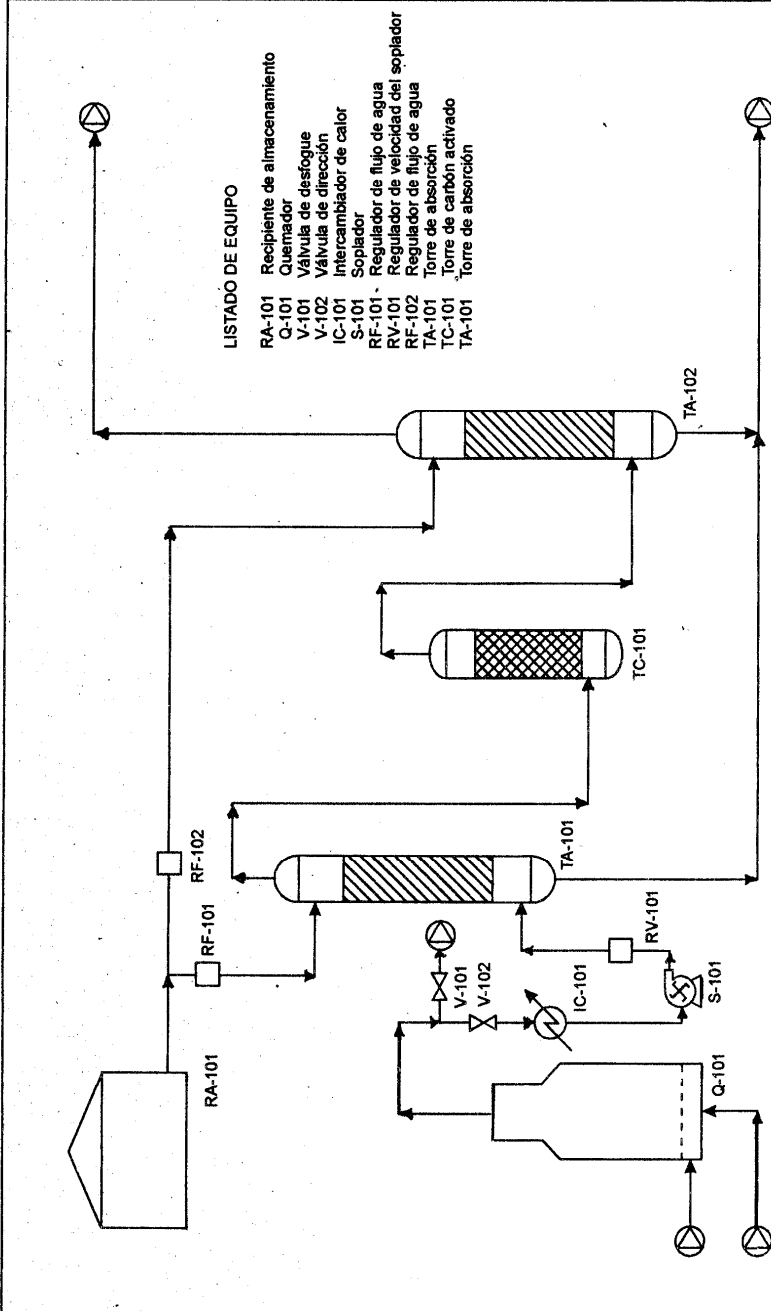
En este apartado se especifican las acciones a tomar para llevar a cabo los arranques y paros dentro de la operación de la planta.

Tanto el arranque como el paro de la planta piloto de lavado y purificado de gases de combustión se basarán en los diagramas de flujo de proceso Nos. 7 y 8.

10.12.1 ARRANQUE TOTAL

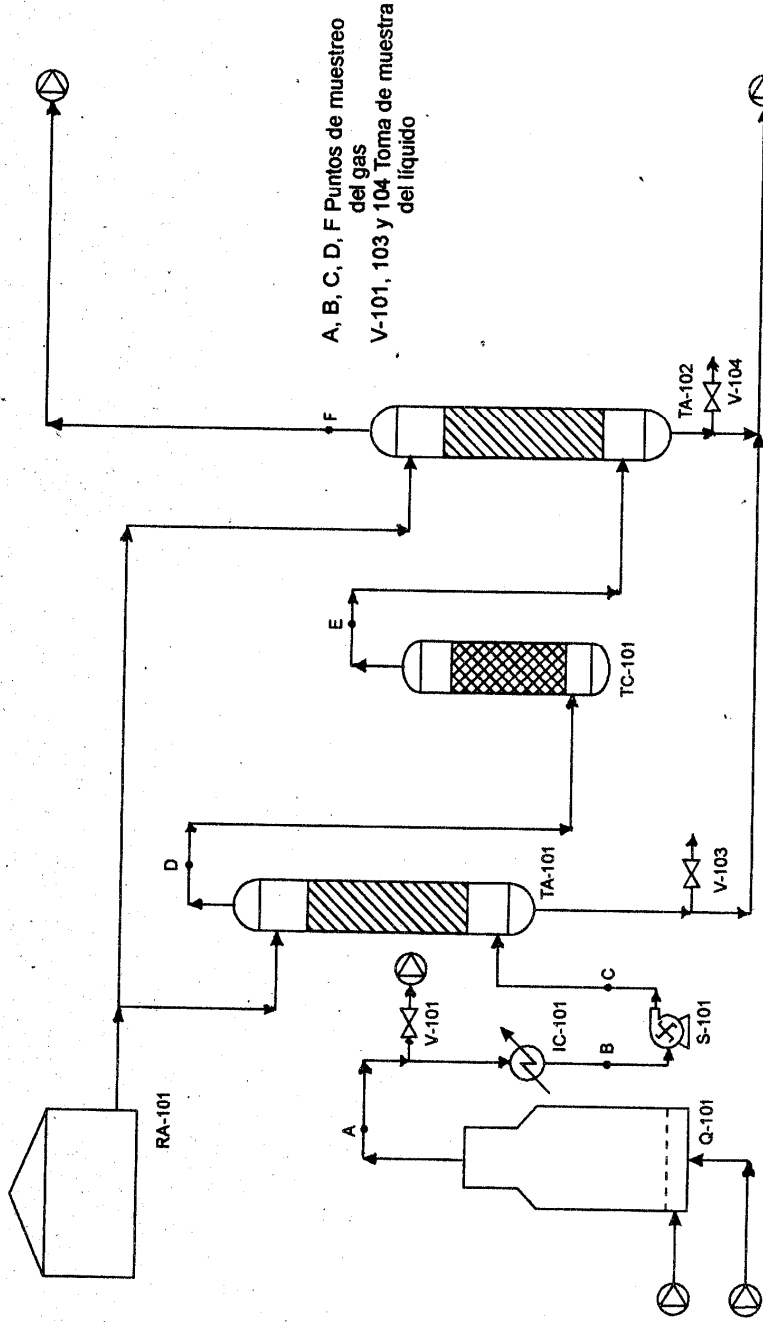
Se seguirán los siguientes pasos:

1. Preparar y acondicionar la materia prima.
2. Abrir V-101 y cerrar V-102.
3. Cerrar todas las válvulas diferentes a V-101.
4. Iniciar combustión en Q-101.
5. Abrir RF-101 y 102.
6. Estabilizar el flujo de agua.
7. Abrir V-102 y cerrar V-101.
8. Encender S-101.
9. Estabilizar el flujo de gas con RP-101.
10. Reestabilizar flujos.



- LISTADO DE EQUIPO**
- RA-101 Recipiente de almacenamiento
 - Q-101 Quemador
 - V-101 Válvula de disfogeo
 - V-102 Válvula de dirección
 - IC-101 Intercambiador de calor
 - S-101 Soplador
 - RV-101 Regulador de flujo de agua
 - RF-101 Regulador de velocidad del soplador
 - RF-102 Regulador de velocidad del soplador
 - TA-101 Torre de absorción
 - TC-101 Torre de absorción
 - TA-101 Torre de absorción

PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION
METODO	ABSORCION - ADSORCION
PLANO	OPERACION DE LA PLANTA (ARRANQUE Y PARO)
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA	
UNIVERSIDAD DE SONORA	
PLANO No.	7 ESCALA S/E
FECHA	NOVIEMBRE 23, 1995
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA



PROCESO	SISTEMA DE LAVADO Y PURIFICADO DE GASES DE COMBUSTION		
METODO	ABSORCION - ADSORCION		
PLANO	PUNTOS DE MUESTREO DE CORRIENTES		
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y METALURGIA			
UNIVERSIDAD DE SONORA			
PLANO No.	B	ESCALA	S/E
FECHA	NOVIEMBRE 14, 1995		
REALIZO	GENOVEVA BUELNA QUIJADA		

A partir de este momento, el sistema se encuentra en operación. Inmediatamente se deberá inspeccionar lo siguiente:

1. Checar que el nivel del agua en el fondo de las torres lavadoras no alcance el orificio de entrada del gas.
2. Asegurarse de que no haya inundaciones en los lavadores.
3. Verificar que las partículas del lecho de carbón activado no sean arrastradas por la corriente de gas y se introduzcan a la tubería.
4. Inspeccionar que no haya fugas en el equipo ni a lo largo de la tubería.
5. Monitorear los puntos de salida de los gases de chimenea y del agua a desague.
6. Monitorear cada 5 ó 10 minutos en A, B, C, D, E, F y en V-103 y 104.
7. Llenar la hoja de registro.

10.12.2 ARRANQUE PARCIAL

El diseño del sistema hace posible la operación de solamente una de las dos torres de lavado y el filtro de carbón activado.

Para el arranque parcial, se siguen los mismos pasos que para el arranque total, excepto que en el punto No. 5 sólo se abrirá el regulador de flujo (RF-101 o RF-102) que alimente a la torre que se desee en operación.

10.12.3 PARO TOTAL

1. Detener la combustión en Q-101.
2. Verificar que en el punto F de monitoreo el gas sea solamente aire.
3. Apagar S-101.
4. Abrir V-101 y cerrar V-102.
5. Asegurarse de que en el monitoreo en V-103 y 104 se encuentre sólo agua (sin contaminantes).
6. Cerrar RF-101 y 102.

10.12.4 PARO PARCIAL

En el paro parcial también seguirá las mismas instrucciones que en el paro total, pero en el último punto (No. 6) sólo será necesario cerrar aquel regulador que haya sido abierto.

10.12.5 PARO DE EMERGENCIA

Si la emergencia se debe a problemas en el área de combustión, se seguirán los siguientes pasos:

1. Detener la combustión.
 2. Abrir V-101.
 3. Apagar S-101.
 4. Cerrar V-102.
 5. Si la emergencia lo permite, esperar a que en V-103 y 104 sólo se registre agua limpia, si no, pasar inmediatamente al siguiente punto.
- Cerrar RF-101 y 102.

En cambio, si la emergencia se debe a fallas en el resto del proceso:

1. Apagar S-101.
2. Abrir V-101.
3. Cerrar V-102.
4. Detener la combustión en Q-101.
5. Si la emergencia lo permite, esperar a que en V-103 y 104 sólo se registre agua limpia, si no, pasar inmediatamente al siguiente punto.
6. Cerrar RF-101 y 102.

10.13 HOJA DE REGISTRO

En este formato se llevarán registros de las condiciones de operación. En esta hoja se representarán de manera separada los distintos equipos, de los cuales se extraerán las lecturas de los sensores de temperatura, presión y flujo que estarán conectados al gabinete metálico con sistema de control y adquisición de datos de la computadora.

